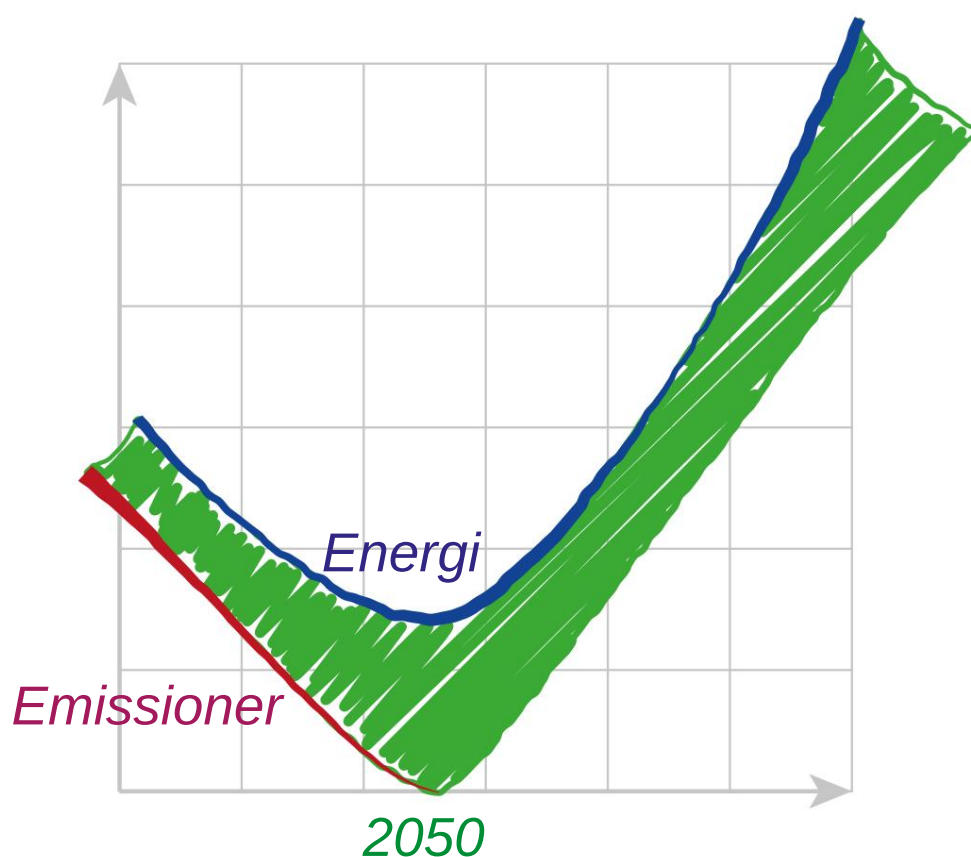


Absolut nul



Opfyldelse af Storbritanniens klimaforpligtelse med
gradvise ændringer af nutidens teknologier

Absolut nul

Den britiske efterspørgsel efter energiintensive materialer vokser, hvilket fører til øgede emissioner i Storbritannien og i udlandet. UK FIRES er et forskningsprogram sponsoreret af den britiske regering, der sigter mod at støtte en 20% reduktion i Storbritanniens reelle emissioner inden 2050 ved at placere ressourceeffektivitet i centrum for Storbritanniens fremtidige industrielle strategi.

Industrien er den mest udfordrende sektor for klimaforandringer – den er energieffektiv, og der findes ingen erstatninger i stor skala for de energiintensive bulkmaterialer – stål, cement, plast, papir og aluminium. UK FIRES arbejder derfor hen imod en industriel renæssance i Storbritannien med klimasikre britiske virksomheder med høj værdi, der leverer varer og tjenester, der er forenelige med Storbritanniens juridiske forpligtelse til nul emissioner og med langt mindre produktion af nye materialer.



Forfattere : Allwood, J.M. a , Dunant, C.F. a Cleaver, Lupton, R.C.b ,
C.J. a , Serrenho, A.C.H. a , Azevedo, J.M.C. a , Horton,
P.M.A. , Clare, C.c , Low, H.e , Horrocks, I.e , Murray, J.c , Lin, J. f ,
Cullen, J.M.A. , Ward, M. d , Salamati, M. d , Felin, T. e , Ibell, T. b ,
Zho, W. f , Hawkins, W. b .

et universitet i Cambridge

University of Bath

Universitetet i Nottingham

University of Strathclyde

Oxford Universitet

^{ff} Kejsersligt College.

DOI: 10.17863/CAM.46075

Ophavsret ©2019 Cambridge Universitet

Først udgivet 29. november 2019

Kontaktoplysninger: UK FIRES ledes af professor Julian M Allwood
FREng, som kan kontaktes via info@ukres.org. fi
Vi modtager gerne kommentarer eller bidrag til fremtidige udgaver
af "Absolut Nul".

Forfatterne har gjort deres rettigheder i henhold til ophavsretten gældende,
Design- og patentloven fra 1988 skal identificeres som ophavsmænd
af dette arbejde.

Resumé

Vi kan ikke vente på, at banebrydende teknologier leverer netto-nul-udledning inden 2050. I stedet kan vi planlægge at reagere på klimaforandringer ved hjælp af nutidens teknologier med gradvise ændringer. Dette vil afsløre mange muligheder for vækst, men kræver en offentlig diskussion om fremtidens livsstil.

Vi skal reducere vores drivhusgasudledning til nul inden 2050: Det er, hvad klimaforskere fortæller os, det er, hvad sociale demonstranter kræver, og det er nu loven i Storbritannien. Men vi er ikke på rette spor. I tyve år har vi forsøgt at løse problemet med nye eller **banebrydende** teknologier, der leverer energi og giver industrien mulighed for at fortsætte med at vokse, så vi ikke behøver at ændre vores livsstil. Men selvom der udvikles nogle spændende nye teknologiske muligheder, vil det tage lang tid at implementere dem, og de vil ikke være i drift i stor skala inden for tredivе år.

I mellemtiden bliver vores biler tungere, vi flyver mere hvert år, og vi opvarmer vores hjem til højere temperaturer. Vi ved alle, at det ikke giver mening, men det er svært at begynde at diskutere, hvordan vi virkelig vil håndtere klimaforandringer, mens vi bliver ved med at håbe, at nye teknologier vil fjerne problemet.

Som svar tager denne rapport udgangspunkt i **nutidens teknologier**: Hvis vi virkelig ønsker at nå nul emissioner om tredivе år, hvad indebærer det så? Det meste af det, vi nyder allermost – at tilbringe tid sammen som familier eller fællesskaber, fritid, sport, kreativitet – kan fortsætte og vokse uhindret.

Vi er nødt til at skifte til at bruge elektricitet som vores eneste energiform, og hvis vi fortsætter dagens imponerende vækstrater inden for ikke-udledende produktion, behøver vi kun at reducere vores energiforbrug til 60 % af nutidens niveau. Vi kan nemt opnå dette med **gradvise** ændringer i den måde, vi bruger energi på: vi kan køre i mindre biler og tage toget, når det er muligt, bruge effektive elektriske varmepumper til at holde varmen og købe bygninger, køretøjer og udstyr, der er bedre designet og holder meget længere.

De to store udfordringer, vi står over for med en fuldt elektrisk fremtid, er **flyvning** og **skibsfart**. Selv om der er mange nye ideer om elektriske fly, vil de ikke være i drift i kommerciel skala inden for 30 år, så nul emissioner betyder, at vi alle i en periode vil holde op med at bruge fly.

Skibsfart er mere udfordrende: Selv om der er et par militærskibe, der drives af atomreaktorer, har vi i øjeblikket ingen store elektriske handelsskibe, men vi er stærkt afhængige af skibsfart for importerede fødevarer og varer.

Derudover kræver overholdelse af loven i vores klimalov, at vi stopper med at gøre alt, der forårsager emissioner, uanset dets energikilde.

at vi holder op med at spise **oksekød og lam** - drøvtyggere, der udleder metan, når de fordøjer græs - og at mange mennesker allerede er begyndt at skifte til mere vegetarisk kost.

Det vanskeligste problem er dog **cement**: fremstilling af cement udleder emissioner uanset hvordan den drives, og der findes i øjeblikket ingen alternative muligheder i stor skala. og vi ved ikke, hvordan vi installerer nye vedvarende energikilder eller laver nye energieffektive bygninger uden det.

Vi er nødt til at diskutere disse udfordringer som samfund. At gøre fremskridt med klimaforandringer kræver, at de tre nøglegrupper af aktører - regeringen, virksomhederne og enkeltpersoner - arbejder sammen, i stedet for at vente på, at de to andre handler først. Men før vi erkender, at banebrydende teknologier ikke kommer hurtigt nok, kan vi ikke engang begynde at have den rigtige diskussion.

At forpligte sig til nul emissioner skaber enorme **muligheder**: Der vil være enorm vækst i brugen og omdannelsen af elektricitet til rejser, opvarmning og industri, vækst i nye nul-emissionsdiæter, vækst i materialeproduktion, fremstilling og byggeri, der er forenelige med nul-emissioner, vækst i fritids- og indenrigsrejser, vækst i virksomheder, der hjælper os med at bruge energi effektivt.

og for at bevare værdien i materialerne.

At skabe denne forandring og udforske de muligheder, den skaber, kræver tre ting, der sker sammen: Som enkeltpersoner skal vi være en del af processen og udforske de ændringer i livsstil, vi foretrækker, for at gøre nul-emission til virkelighed. **Protest er ikke længere nok** - vi skal sammen diskutere, hvordan vi ønsker, at løsningen skal udvikle sig; regeringen skal behandle dette som **en leveringsudfordring** - ligesom vi gjorde med OL i London, til tiden og inden for budgettet; de udledende virksomheder, der må lukke, kan ikke få lov til at forsinke handling, men i mellemtiden er forfatterne af denne rapport finansieret af regeringen til at arbejde på tværs af industrien for at støtte overgangen **til vækst, der er forenelig med nul-emissioner**.

Banebrydende teknologier vil være vigtige i fremtiden, men vi kan ikke stole på, at de når vores nul-emissionsmål i 2050. I stedet sætter denne rapport en dagsorden for en længe ventet offentlig samtale i hele det britiske samfund om, hvordan vi virkelig ønsker at opnå absolut nul inden for tredivе år.

Hovedbudskaber til industrisektorer

Hovedbudskab: Absolut nul skaber en drivkraft for enorm vækst i industrier relateret til elektrificering, fra materialeforsyning, via produktion og lagring til slutbrug. Fossilbrændstof-, cement-, skibsfarts- og luftfartsindustrien står over for hurtig nedgang, mens bygge- og anlægssektoren og mange fremstillingssektorer kan fortsætte i nutidens skalaer med passende transformationer.

Fritid, sport, kreative kunstarter og frivilligt arbejde: Disse sektorer kan ekspandere kraftigt og bør have en central plads i nationale definitioner af velfærdsmål.

Elsektoren og infrastrukturen: Absolut nul kræver en 3-dobling af ikke-emitterende elproduktion, lagring, distribution og belastningsbalancering.

Byggesektoren: Alt nyt byggeri skal være til nul-energistandarder for forbrug. Byggeriets påvirkning handler primært om brugen af materialer, primært stål og cement. I 2050 vil vi kun have meget begrænset cementbaseret materiale og vil kun bruge genbrugsstål, men der er utallige muligheder for radikale reduktioner.

i mængden af materiale, der anvendes i hver konstruktion.

Stålsektoren: Alle eksisterende former for højovnsproduktion, som allerede er under stort pres på grund af global overkapacitet, er ikke forenelige med nul-emissioner.

Genbrug drevet af vedvarende energi har dog enorme vækstmuligheder, idet der udnyttes det faktum, at udbuddet af stålskrot vil tredobles i løbet af de næste 30 år.

Der er kortsigtede innovationsmuligheder relateret til at levere stål af højeste kvalitet fra genbrug, og langsigtede muligheder for teknologier til fremstilling af nul-kulstofstål fra malm, der kunne anvendes.

efter 2050.

Cementsektoren: Alle eksisterende former for cementproduktion er uforenelige med nul emissioner. Der er dog nogle muligheder for udvidet brug af ler, og der er et presserende behov for at udvikle alternative processer og materialer. Brug af mikrobølgeprocesser til at genbruge brugt cement virker lovende.

Minedrift og materialeforsyning: Nul emissioner vil føre til en hurtig overgang i materialebehovet. En betydelig reduktion i efterspørgslen efter visse malme og mineraler, især dem, der er forbundet med stål og cement, er sandsynlig sammen med en hurtig stigning i efterspørgslen efter materialer forbundet med elektrificering. Det synes sandsynligt, at der vil være muligheder for konsolidering i de i øjeblikket spredte forretninger inden for indsamling, forarbejdning, lager og forsyning af sekundære materialer.

Jernbane: Den store effektivitet af elektrisk togrejser tyder på en betydelig udvidelse af elektrisk togrejser indenrigs

og internationalt, er sandsynligt og vil opleve stor efterspørgsel.

De mest effektive elektriske tog er aerodynamisk effektive, ligesom dem, der er designet til drift med højeste hastighed i dag, men kører med lavere hastigheder.

Vejkøretøjer: Overgangen til elbiler er allerede godt i gang, og med den stigende efterspørgsel vil omkostningerne formodentlig falde. Vi har allerede mål for udfasning af ikke-elektriske køretøjer, men i 2050 vil vi kun have 60 % af den elektricitet, der kræves til at drive en flåde svarende til den, der bruges i dag. Derfor vil vi enten bruge 60 % færre biler, eller de vil være 60 % af størrelsen. Udvikling af automatisk kvalitetsstål fra genbrug er en prioritet, og behovet for at kontrollere kvaliteten af genbrugsmetal kan kræve ændrede ejerskabsmodeller. Den hurtige udvidelse af produktionen af litumbatterier kan ramme den kortsigtede forsyning.

begrænsninger og skaber miljømæssige bekymringer i sidste ende af livet, medmindre effektiv genbrug kan udvikles.

International fragt: Vi har i øjeblikket ingen fragtskibe uden udledning, så der er et presserende behov for at undersøge måder at elektrificere skibe og muligheder for at overgå til elektrisk jernbane. Dette ville kræve en enorm udvidelse af den internationale jernbanekapacitet.

Luftfart: Der er ingen muligheder for nul-emissionsflyvning i den tid, der er til rådighed til handling, så branchen står over for en hurtig nedgang. Udviklingen inden for elektrisk flyvning kan være relevant efter 2050.

Fossile brændstofindustrier: Al forsyning af kul, gas og olie fra udvinding gennem forsyningskæden til detailhandel skal lukke inden for 30 år, selvom CO2-opsamling og -lagring kan muliggøre en vis aktivitet senere.

Rejser og turisme: Uden flyvning vil der være vækst i indenlandsk og togrejst turisme og fritid.

Fødevarer og landbrug: Oksekød og lam udfases inden 2050 og erstattes af en stærkt øget efterspørgsel efter vegetarisk mad. Elforsyningen til fødevarerforarbejdning og -opbevaring vil blive reduceret med 50 %.

Bygningsvedligeholdelse og renovering: Hurtig vækst i efterspørgslen efter konvertering til elektrisk varmepumpebaseret opvarmning matchet med forbedringer i isolering og lufttæthed af bygningsskærme.

Nøglebudskaber til enkeltpersoner

Hovedbudskab: De store handlinger er: rejs mindre med tog eller i små (eller fulde) elbiler og stop med at flyve; brug mindre varme og elektrificer fyret ved næste opgradering; lobby for byggeri med halvt så mange materialer i dobbelt så lang tid; stop med at spise oksekød og lam. Hver handling, vi foretager os for at reducere emissioner, derhjemme eller på arbejdet, skaber en positiv ringvirkning.

Som individer kan vi alle arbejde hen imod det absolutte nulpunkt gennem vores indkøb og vores indflydelse. Hver positiv handlinger, vi foretager os, har en dobbelt effekt: de reducerer udledninger direkte og opfordrer regeringer og virksomheder til at reagere mere modigt. Hvor vi forårsager emissioner direkte, kan vi have en stor effekt ved at købe anderledes. Hvor de udledes af organisationer snarere end enkeltpersoner, kan vi lobbye for forandring.

Handlingerne angivet som absolutte nedenfor er dem, der vil være ulovligt i 2050 på grund af klimaloven.

Lev godt

De aktiviteter, vi nyder allermost, ifølge Storbritanniens omfattende tidsforbrugsundersøgelse, er sport, socialt liv, spisning, hobbyer, spil, computere, læsning, tv, musik, radio, frivilligt arbejde (og sove!). Vi kan alle gøre mere af dette uden at det påvirker emissionerne.

Rejser

Virkningen af vores rejser afhænger af, hvor langt vi rejser, og hvordan vi gør det. Den mest effektive måde at rejse på er med et stort antal mennesker, der rejser i et køretøj med en lille front, og vi kan alle reducere vores samlede årlige kilometertal.

1. Stop med at bruge fly
2. Tag toget, ikke bilen, når det er muligt.
3. Brug alle sæderne i bilen, eller køb en mindre
4. Vælg en elbil næste gang, hvis det er muligt, hvilket vil blive lettere i takt med at priserne falder, og ladeinfrastrukturen udvides.
5. Lobbyér for flere tog, ingen nye veje, lukning af lufthavne og mere vedvarende elektricitet.

Opvarmning og apparater:

Vores energiregninger er primært drevet af vores opvarmning og varme. vand.

1. Brug kedlen i kortere tid, hvis det er muligt, og hold varmen ved kun at opvarme rum, hvis der sidder personer i dem, forsegle luftspalter og tilføj isolering.
2. Tag varmere tøj på om vinteren.

3. Næste gang du udskifter fyret, så vælg en elektrisk luft- eller jordvarmepumpe, hvis det er muligt.
4. Køb mindre og mere effektive apparater, der holder længere
5. Lobby for nul-kulstof byggestandarder, behovsprøvet støtte til boligrenovering og mere vedvarende elektricitet

Indkøb:

De fleste industrielle emissioner vedrører produktion af materialer, som fremstilles effektivt, men bruges spildt, så vi er nødt til at reducere vægten af de fremstillede materialer. De største mængder materiale bruges ikke af husholdninger, men til at bygge kommercielle og offentlige bygninger og infrastruktur, industrielt udstyr og køretøjer.

1. Lobbyvirksomheder og regeringen for at få dem til at bygge bygninger og infrastruktur med halvdelen af det materiale, der er garanteret, i dobbelt så lang tid.
2. Når du udvider eller ombygger dit hjem, så prøv at vælge genbrugte materialer og undgå cement.
3. Sigt efter at reducere den samlede vægt af det materiale, du køber hvert år.
4. Lobbyér for grænsekontrol af emissioner i materialer (ligesom vi har med fødevarerstandarder) for at give virksomheder mulighed for egnet til, at Absolute Zero kan vokse og trives i Storbritannien

Spise:

Små ændringer i kosten kan have en stor effekt.

1. Reducer forbruget af oksekød og lam, da disse har langt højere emissioner end nogen anden almindelig fødevarer.
2. Vælg mere lokalt fremskaffede fødevarer, hvis det er muligt, for at reducere transportmængden, især ved at skære ned på luftfragt.
3. Sigt efter at bruge færre frosne og forarbejdede måltider, da disse dominerer fødevarereproducenternes energiforbrug.
4. Lobbyister supermarkeder for at støtte landmænd i at bruge mindre gødning - det har en stor effekt, men meget af det går til spildevand, da det spredes for langt væk fra planterne.

Hvorfor denne rapport er vigtig

Hovedbudskab: Vi er juridisk forpligtet til at reducere Storbritanniens udledning til nul inden 2050, og der er ikke tid til at gøre dette ved at implementere teknologier, der endnu ikke fungerer i stor skala. Vi har brug for en offentlig diskussion om de nødvendige ændringer, og hvordan vi kan omdanne dem til en god industriel strategi.

Tidslinjer:

I sin sidste betydningsfulde handling som premierminister ændrede Theresa May Storbritanniens klimalov for at forpligte os til at eliminere alle drivhusgasemissioner i Storbritannien inden 2050. Denne beslutning er baseret på god klimavidenskab, var et svar på en stor bølge af social protest og er allerede blevet kopieret i 60 andre lande.

Men 30 år er kort tid til så stor en forandring.

Politikere i Storbritannien og internationalt taler om klimaforandringer, som om de kan løses alene med nye energiteknologier, og rapporter fra den britiske regering er overmodige med hensyn til, hvor store fremskridt der er opnået; i virkeligheden

De fleste nedskæringer i Storbritanniens emissioner er et resultat af fru Thatchers beslutning om at skifte fra kul- til gasfyret elektricitet og tillade den britiske tungindustri at lukke. Storbritannien har haft succes med at reducere metanudledningen - ved at sortere vores organiske affald og bruge det i anaerobe biogasanlæg til at producere gas til energi, men nye energiteknologier udvikler sig langsomt.

Der findes ingen usynlige løsninger på klimaforandringer, så vi er nødt til at engagere alle i processen med at gennemføre de ændringer, der vil føre til nul emissioner.

Forvirring omkring teknologier

I denne rapport bruger vi tre forskellige beskrivelser af de teknologier, der forårsager emissioner:

- **Dagens teknologier** er massemarkedsprodukter i dag - såsom typiske benzin- eller dieselmotorer.
- **Trinvis teknologier** kunne leveres i dag, hvis kunderne efterspurgte dem - for eksempel mindre biler.
- **Banebrydende teknologier** såsom biler drevet af brintbrændselsceller findes måske allerede, men har endnu ikke erobret engang 5% af verdensmarkedet.

Trinvis teknologier kan implementeres hurtigt, men banebrydende teknologier kan ikke. Vi er bekymrede over, at de fleste planer for håndtering af klimaforandringer afhænger af banebrydende teknologier - og derfor ikke vil blive leveret til tiden.

Hvorfor vi har skrevet denne rapport nu

Forfatterne af denne rapport modtager finansiering fra den britiske regering til at støtte virksomheder og regeringer (nationale og regionale) i at udvikle en fremtidig industriel strategi, der er forenelig med nul emissioner. For at gøre det, er vi nødt til at forudse, hvordan vi vil fremstille fremtidige varer og bygninger, og også tænke over, hvilken ydeevne vi ønsker fra dem.

Hvad vi mener med "Absolut nul"

Den britiske klimalov indeholder to "undslippeord": den omtaler "netto"-emissioner og mål for dem, der forekommer på vores "territorium". Men i virkeligheden har vi, bortset fra at plante flere træer, ingen kortsigtede muligheder for at fjerne emissioner fra atmosfæren, og selv en massiv udvidelse af skovbruget ville kun have en lille effekt sammenlignet med nutidens emissioner. Desuden ændrer lukning af fabrikker i Storbritannien ikke de globale emissioner og kan forværre dem, hvis vi importerer varer fra lande med mindre effektive processer.

Offentlighedens bekymring om klimaet er for velinformeret til at blive holdt ude af spillet af politisk manipulation med definitioner. I forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport har vi derfor antaget, at:

- Målet om nul emissioner er absolut - der er ingen negative emissionsmuligheder eller meningsfulde "kulstofkompensationer". Absolut nul betyder nul emissioner;
- Storbritannien er ansvarlig for alle emissioner forårsaget af sine indkøb, herunder importerede varer, internationale flyvninger og skibsfart.

Invitation til at deltage

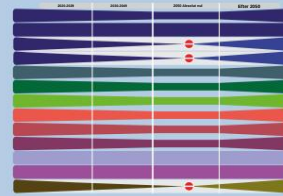
Denne rapport præsenterer vores bedste estimat af det absolutte nulpunkt, baseret på offentligt rapporterede data og fagfællebedømt evidens. Der er uden tvivl flere muligheder, som vi ikke kender til, og hvis denne rapport viser sig nyttig, vil der være andre aspekter af rejsen mod det absolutte nulpunkt, som vi kan bidrage med at informere om. Vi modtager gerne bidrag og kommentarer og vil give et redigeret resumé af enhver diskussion på www.ukfires.org. Hvis der er efterspørgsel, vil vi opdatere og genudgive rapporten som svar.

Kontakt os venligst via info@ukfires.org, og hvis du fandt denne rapport nyttig, så del den venligst i dine netværk.

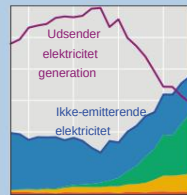
Vejledning til rapporten

Åbning materiale

Hvilke handlinger kan vi foretage os - som enkeltpersoner og i nøglesektorer for at reducere emissioner nu og for at udvikle fremtiden valg til at levere det absolutte nulpunkt?



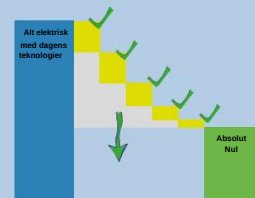
1. Det absolutte nulpunkt med nutidens teknologier



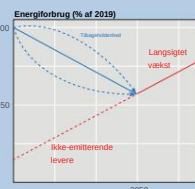
Den britiske klimalov forpligter os til nul udledning om 30 år - baseret på god klimavidenskab. Den laveste risiko ved at ændre sig den måde, vi bruger nutidens teknologier på.

2. Muligheder for trinvis og gennembrud innovationer

De varer, vi køber, vil naturligvis ændre sig i løbet af de næste 30 år, men det tager årtier for banebrydende teknologier for at nå fuld skala, så vi fokuserer på sandsynlige inkrementelle innovationer.



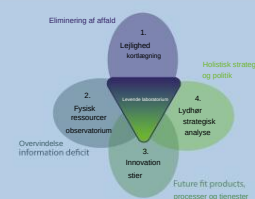
3. Forandringsprocessen hen imod Absolut nul



At nå det absolutte nulpunkt kræver en samarbejde mellem individer, regeringen og virksomhederne. Ingen af dem kan handle ensidigt, så de når ud til Målet vil være en proces.

4. Muligheder skabt af Absolut nul

En af fordelene ved at overveje Det absolutte nulpunkt er, at det giver os mulighed for at genkende, hvor mange muligheder er skabt ved at forfølge de strenge emissionsmål.



Noter til figurerne

Notes to the figures

Figur 1.2: Data fra Det Internationale Energiagentur (IEA, 2018) med data om CCS-installationer ved kraftværker fra den olie- og gasfinansierede pro-CCS-lobby, Global CCS Institute.

Figur 1.3: Denne analyse af Václav Smil (2014) ser på den globale udfordring af de tre største fossile brændstoffer i forhold til den samlede globale energiforsøg på det tidspunkt. Der er sket nogle hurtigere overgange i individuelle lande, som vist i boks historien på side 3.

Vi har forsøgt at lave denne rapport så letlæselige som muligt, men al vores analyse er solidt forankret i data. Disse noter viser, hvordan vi har fundet frem til og brugte beviserne

Referencer

Disse referencer peger på kilderne vi brugte til data eller anden dokumentation.

Referencer

Haberl, H., et al. (2007). Kvantificering og kortlægning af den menneskelige tilgængelighed af netoprimerproduktion i Jordens tematiske ekosystemer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12942-12947.

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F. Menneskelig tilgængelighed af netoprimerproduktion: Menneske, landbrugs og planeteriske grænser. *Årlig gennemgang af miljø og Ressourcer*, 2014, 39 (1): s. 363-391.

Den britiske regering, 2018. Vores affald, vores ressourcer...

	2020-2029	2030-2049
Vejkøretøjer	Udviklingen af benzin-/dieselmotorer ophører; Ethvert nyt køretøj, der introduceres fremover, skal være kompatibelt med Absolute Zero.	Alle nye køretøjer er elektriske, den gennemsnitlige størrelse på biler reduceres til ~1000 kg.
Jernbane	Vækst i indenrigs- og international jernbanetransport som erstatning for lette tog og bilrejser med lav belægningsgrad	Yderligere vækst med udvidet netværk og udelukkende elektriske tog; jernbane bliver dominerende transportform for godstransport i takt med at skibsfarten falder
Flyvende	Alle lufthavne undtagen Heathrow, Glasgow og Belfast lukker med togtransport	Alle resterende lufthavne lukker
Forsendelse	Der er i øjeblikket ingen fragtskibe, der opererer uden emissioner, så skibsfarten skal trække sig sammen.	Al forsendelse falder til nul.
Opvarmning	Elektriske varmepumper erstatter gasfyr, og bygningsefterbehandlinger (lufttæthed, isolering og udvendig afskærmning) udvides hurtigt.	Program til at forsyne al indendørs opvarmning med varmepumper og energirenoveringer til alle bygninger
Hvidevarer	Gaskomfurer udfases hurtigst til fordel for elektriske kogeplader og ovne. Køleskabe, frydere og vaskemaskiner blev mindre.	Elektricitet til alle apparater og reduktion i størrelse for at reducere strømbehovet.
Mad	Det nationale forbrug af oksekød og lam falder med 50 %, samtidig med at importen af frosne færdigretter og luftfragvarer reduceres.	Oksekød og lam udfases, sammen med al import, der ikke transporteres med tog; gødningsforbruget reduceres kraftigt
Indkøb af minematerialer	Reduceret efterspørgsel efter jernmalm og kalksten i takt med at højovnsjern og -cement reduceres. Øget efterspørgsel efter materialer til elektricitet	Jernmalm og kalksten udfases, mens forsyningskæden for metalkrot udvides kraftigt og udvikles med meget høj præcisionssortering.
Materialeproduktion	Genbrug af stål vokser, mens cement og højovnsjern reduceres; nogle plasttyper med procesemissioner reduceres.	Cement og nyt stål udfases sammen med udledning af plastik. Genbrug af stål vokser. Aluminium, papir reduceret med energitilførsel.
Konstruktion	Reduceret cementforsyning kompenseret af forbedret materialeeffektivitet, nyt stål erstattet af genbrugsstål	Al konventionel mørtel og beton udfases, alt stål genbruges. Fokus på renovering og tilpasning af eksisterende bygninger.
Produktion	Materialeffektivitet bliver vigtig i takt med at materialeforsyningskontrakter indgår	De fleste varer er lavet med 50 % så meget materiale, mange bruges nu dobbelt så længe
Elektricitet	Vind- og solenergiforsyningen vokser så hurtigt som muligt, med tilhørende lagring og distribution. Hurtig udvidelse af elektrificeringen af slutbrugere.	Firedobling af vedvarende energiproduktion siden 2020, alle ikke-elektriske motorer og varmeapparater udfaset.
Fossile brændstoffer	Hurtig reduktion i udbud og brug af alle fossile brændstoffer, undtagen olie til plastikproduktion	Fossile brændstoffer er blevet udfaset

2050 Absolut nul

Efter 2050

Vejbrug på 60 % af 2020-niveauet - ved at reducere kørt afstand eller reducere køretøjers vægt

Nye muligheder for energi
lagring knyttet til udbredelse af ikke-emitterende elektricitet
kan muliggøre vækst i efterspørgslen

Eltog er det foretrukne transportmiddel for personer og gods over alle større afstande,

Toghastigheder stiger med stigende tilgængelighed af nul-emissions elektricitet



Elektriske fly kan y
med syntetisk brændstof, når der er overskydende ikke-emitterende
elektricitetsforsyning



Nogle flådeskibe opererer med
atomkraft ombord, og nye lagringsmuligheder kan muliggøre elektrisk
energi

Varme tændt til 60% af dagens forbrug.

Mulighed for at øge brugen
af opvarmning og køling i takt med at udbuddet af ikke-
emitterende elektricitet udvides

Alle apparater opfylder strenge energistandarder og bruger 60 % af nutidens energi.

Bruge , antal og størrelse af
apparater kan stige med stigende nul-emissions elforsyning

Det samlede energiforbrug til at tilberede eller transportere mad
er reduceret med 60 %.

Energi tilgængelig for
gødning, transport og madlavning øges med nul-emissions
elektricitet

Efterspørgslen efter skrotstål og malm til elektricitet er meget
højere, ingen jernmalm eller kalksten.

Efterspørgsel efter jernmalm
og kalksten kan udvikle sig igen, hvis CCS anvendes
til cement- og jernproduktion

Al materialeproduktion elektrisk med en samlet
strømtilgængelighed på 60 % sammenlignet med 2020

Materialeproduktionen kan
udvides med elektricitet, og CCS, CCU og brint kan muliggøre ny
cement og stål.

Al cement skal produceres i lukkede kredsløb, nye
konstruktioner, der er stærkt optimerede for materialebesparelser.

Vækst i cementudskiftninger giver mere arkitektonisk
frihed; nyt stål kan blive tilgængeligt.

Produktionsinput reduceret med 50%, kompenseret af nye
designs og produktionspraksisser. Ingen nødvendig
reduktion af output.

Genoprettelse af reducerede materialeforsyninger muliggør
udvidelse af produktionen, selvom nogle varer i fremtiden vil
være mindre og blive brugt i længere tid end tidligere.

Al energiforsyning er nu ikke-emitterende elektricitet.

Efterspørgslen efter ikke-emitterende elektricitet driver den
løbende udvidelse af udbuddet.



Udvikling af kulstof
Optagelse og lagring (CCS) kan muligvis tillade genoptagelse
brugen af gas og kul til elektricitet

1. Nul udledning i 2050 med nutidens teknologier

Hovedbudskab: Udover flyvning og skibsfart kan al vores nuværende energiforbrug elektrificeres. Med en enorm indsats kunne Storbritannien generere nok ikke-emissionsfri elektricitet til at levere omkring 60 % af vores nuværende endelige energibehov, men vi kunne udnytte det bedre gennem gradvise ændringer i de teknologier, der omdanner energi til transport, opvarmning og produkter.

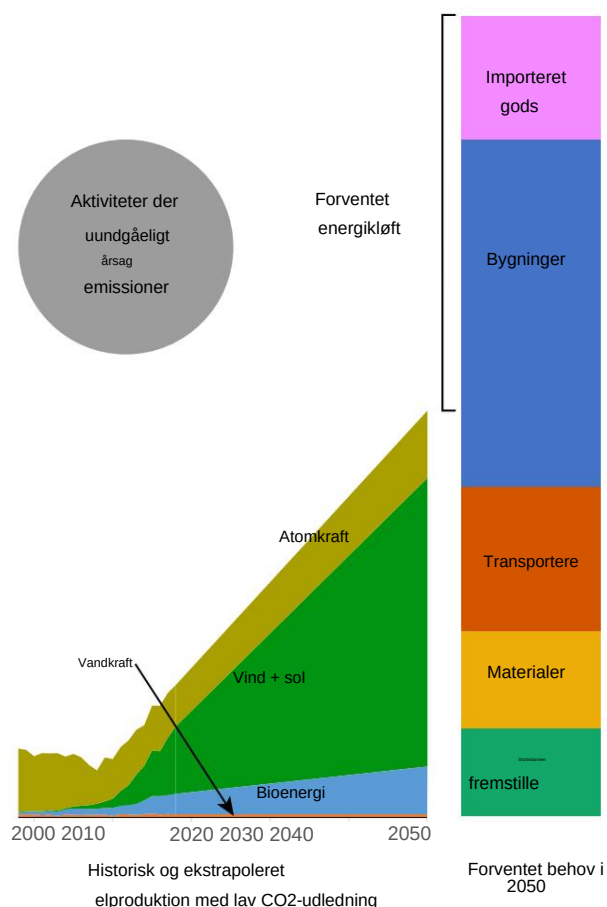
Omkring tre fjerdedele af de drivhusgasemissioner, som mennesker forårsager, udledes, når vi afbrænder fossile brændstoffer - kul, gas og olie - og resten stammer fra vores landbrug (især køer og får), vores omdannelse af jord fra skovbrug til græsningsarealer, den måde, vi lader organisk affald nedbrydes, og vores industrielle processer. Med nutidens teknologier har alle disse kilder, der ikke er relateret til energi, intet alternativ, så at reducere vores emissioner til nul betyder at udfase disse aktiviteter.

Vores energirelaterede udledninger stammer fra vores brug af olie (som diesel, benzin eller petroleum) til transport, vores brug af gas til opvarmning af vores hjem og industrielle processer, og vores brug af kul og gas til at generere elektricitet. Noget af vores elektricitet genereres også uden afbrænding af fossile brændstoffer - for eksempel af atomkraftværker, vindmøller eller solceller - og i en fremtid med nul emissioner vil disse være vores eneste energikilde. Det meste af vores nuværende energiforbrug kunne elektrificeres - ligesom det er tilfældet med at blive fortrøst med elbiler - men der er i øjeblikket ingen muligheder for elektrisk flyvning eller skibsfart. Med nutidens teknologier skal disse transportformer derfor også udfases.

I løbet af de sidste 10 år har vi i Storbritannien foretaget en betydelig ændring i den måde, vi producerer elektricitet på, og omkring halvdelen af vores produktion kommer nu fra ikke-udledende kilder. Hvis vi fortsætter med at udvikle produktionssystemet i samme tempo, vil vi i 2050 have omkring 50 % mere elektrisk strøm, end vi har i dag. Data om effektiviteten af nutidens motorer og varmeapparater giver os mulighed for at anslå, at dette vil være nok til at drive omkring 60 % af nutidens energiforbrugende aktiviteter (bortset fra flyvning og skibsfart). Men fordi energi har været så billig og rigelig i de sidste 100 år, kunne vi i mange tilfælde foretage små ændringer i eksisterende teknologier for at udnytte mindre energi meget bedre.

Figur 1.1 opsummerer denne oversigt over det absolutte nulpunkt med nutidens teknologier: Venstre side af figuren viser den seneste historie for Storbritanniens ikke-udledende elproduktion ekstrapoleret fremad til 2050. Højre side viser den mængde elektricitet, vi ville have brug for, hvis vi elektrificerede alt, hvad vi gør i dag, bortset fra de aktiviteter, der uundgåeligt forårsager emissioner, som vi bliver nødt til at udfase.

Figur 1.1: Gabet mellem i dag og det absolutte nulpunkt



1.1 Energiforsyning i dag

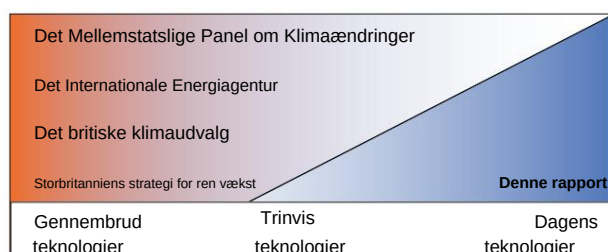
Videnskaben er klar: Vi skal stoppe med at øge mængden af drivhusgasser i atmosfæren for at kontrollere den globale opvarmning. Som reaktion herpå forudsiger de bedste videnskabelige estimater i dag, at de årlige globale udledninger fra menneskelige aktiviteter skal reduceres hurtigt og bør elimineres inden 2050 – om tredivende år. Dette mål, som kræver ekstraordinært hurtige ændringer, er nu lov i Storbritannien og flere andre lande. Men på trods af videnskaben og lovgivningen stiger de globale udledninger stadig.

Det afgørende valg i planlægningen af at reducere emissioner handler om balancen mellem teknologisk innovation og sociale valg. Er det muligt at udvikle en ny teknologi, der vil reducere emissionerne, samtidig med at folk i udviklede økonomier kan fortsætte med at leve, som vi gør i dag, og som giver udviklingsøkonomier mulighed for at udvikle den samme adfærd? Eller skal vi først ændre vores adfærd for at nå emissionsmålet med forskellige udviklingsambitioner og derefter drage fordel af teknologisk innovation, når de bliver tilgængelige senere? Som illustreret i figur 1.2 har alle nationale og internationale regeringer til dato valgt at prioritere teknologisk innovation, men de globale emissioner stiger stadig.

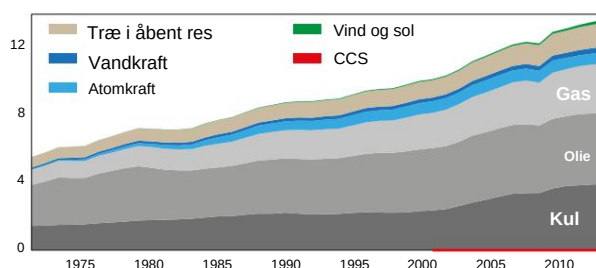
I tyve år har to teknologier domineret politiske diskussioner om afbødning af klimaændringer: produktion af vedvarende energi og kulstofopsamling og -lagring (CCS).

De to vedvarende teknologier, der nu anvendes i vid udstrækning, er vindmøller og solceller. Disse kritiske former for elproduktion er essentielle og bør implementeres så hurtigt som muligt, men figur 1.3 viser, at de kombineret med atomkraft og vandkraft stadig kun bidrager med en lille brøkdel af den samlede globale energiefteerspørgsel. Selvom CCS er blevet brugt til at øge olieudvindingen, er dens samlede bidrag til at reducere de globale emissioner for lille til at kunne ses. De teknologiske elementer i CCS er alle blevet bevist i en vis skala, men indtil en første flåde af fuldskala kraftværker er i drift, vil risiciene og omkostningerne ved yderligere udvidelse forblive høje og usikre. For at illustrere den nuværende betydning af CCS i den globale elproduktion er den samlede

Figur 1.2: Handling nu eller afventning af nye teknologier



Figur 1.3: Verdens primære energiforsyning ('000 Mtoe)

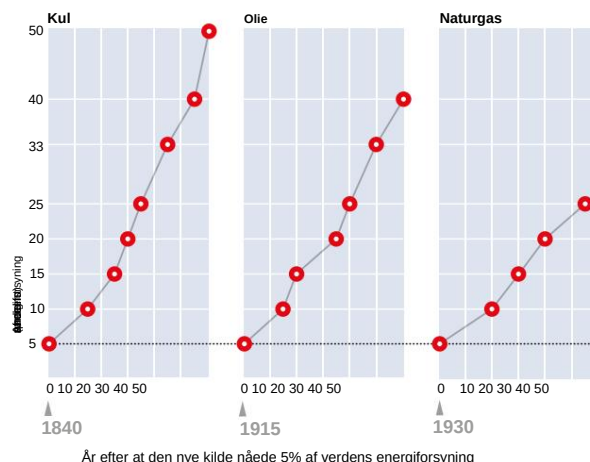


Outputtet fra al CCS-aktiveret elproduktion er vist på figur 1.3 - stadig meget tydeligt oven på y-aksen.

Alle tidligere overgange i energisystemet, for eksempel i figur 1.4, er sket relativt langsomt. Tidlige installationer oplever problemer på grund af menneskelige fejl, og installation af storproduktion kræver langvarig offentlig høring om jordrettigheder, miljøbeskyttelse, sikkerhed og finansiering. På trods af dette virker CCS meget attraktivt for beslutningstagere. For tyve år siden udtalte Det Internationale Energiagentur, at "inden for 10 år har vi brug for 10 demonstrationsmodeller af CCS-kraftværker", men ingen af dem er i fuld skala i dag. Alligevel offentliggjorde Storbritanniens klimaudvalg i 2019 sine planer om at levere nul emissioner, hvilket kræver implementering af CCS i seks ud af tretten sektorer inden for tredivende år. Storbritannien har dog ingen aktuelle planer for selv en første installation, og selvom CCS kan være vigtigt i fremtiden, er det endnu ikke i brug i en meningsfuld skala, men i mellemtiden stiger de globale emissioner stadig.

Håbet om en usynlig, teknologidrevet løsning på klimaforandringer er naturligvis attraktivt for politikere og etablerede virksomheder. Imidlertid har deres fokus på denne tilgang hæmmet undersøgelsen af vores energibehovsmønstre. Figur 1.6a viser, at Storbritanniens energiefteerspørgsel kun falder i industrien. Dette skyldes, at vi i mangel af en meningsfuld industriel strategi har lukket vores egen industri til fordel for øget import. Som følge heraf er denne tilsyneladende reduktion i energiforbruget

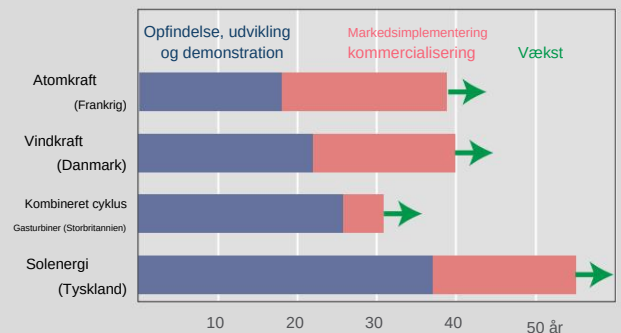
Figur 1.4: Store forandringer i den globale energiforsyning



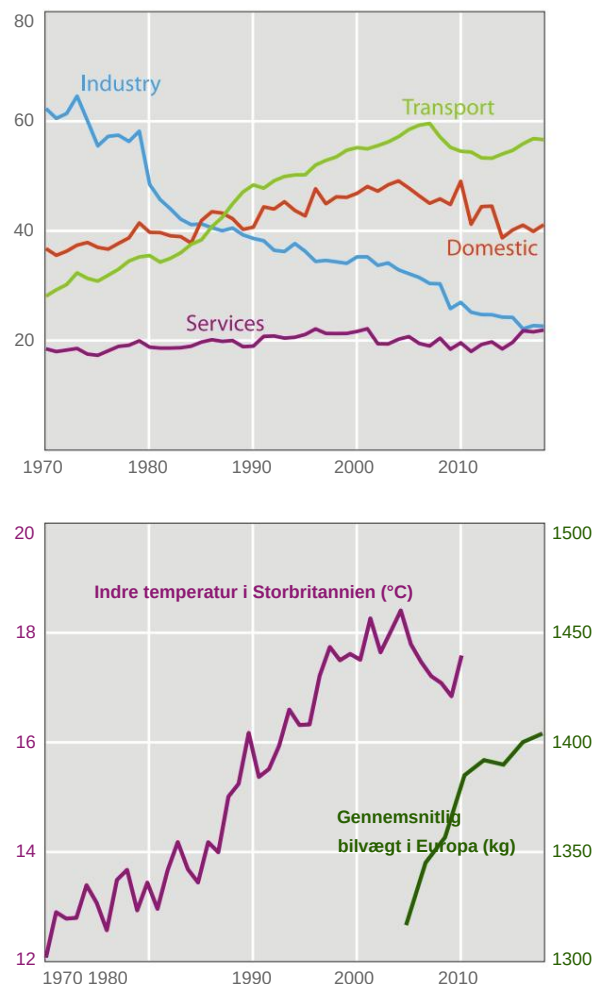
Teknologiovergange i energisystemet

Nye computere, tøj og blade kan sættes til salg kort efter, at de er opfundet. Nye energiteknologier har dog typisk taget meget længere tid at nå fuld skala: Selv hvis teknologien er veletableret, kræver opførelsen af et kraftværk offentlig høring om finansiering, sikkerhed, jordrettigheder, tilslutningsmuligheder og andre miljøpåvirkninger, som alle tager tid. For nye teknologier tager det meget længere tid, da investorer, operatører og regulatorer alle skal opbygge tillid til systemets sikkerhed og ydeevne. Figur 1.5 opsummerer introduktionsraterne for forskellige nye energiteknologier i de lande, hvor de voksede hurtigst. Den grønne pil svarer til startpunkterne for de lineære vækstperioder vist i figur 1.4.

Figur 1.5: År til implementering af energiteknologier



Figur 1.6: Energiforbrug (a) fordelt på sektor (Mtoe) påvirket af (b) bilens vægt og indvendige temperatur



brugen kompenseres af en stigning i andre lande.

I mellemtiden stiger efterspørgslen i andre sektorer, f.eks. drevet af en stigning i vægten af vores biler og øget brug af opvarmning til at hæve temperaturen inde om vinteren (fig. 1.6b). Med tredive år tilbage til at opnå nul emissioner, kan vi ikke risikere at vente på et andet energisystem, så vi er nødt til at have en inkluderende offentlig diskussion om, hvordan vi bruger energi, fordi de globale emissioner stadig stiger.

I 2019 har offentlighedens bekymring over klimaforandringer været markant stigende, drevet af videnskab og voksende beviser for, at der sker ændringer. Indtil videre har de sociale demonstranter opfordret til, at "nogen gør noget" uden at diskutere løsninger, men de eneste løsninger, der er tilgængelige i den resterende tid, kræver en ændring af livsstil. Denne rapport har derfor til formål at sætte gang i denne kritiske diskussion. Rapporten starter med en plan om at nå nul emissioner inden 2050 ved kun at bruge teknologier, der allerede er modne i dag, for at minimere risikoen for, at vi fortsætter med at udlede CO₂ efter 2050. Dette er muligt, men kræver en specifik begrænsning i vores livsstil. Innovation kan afhjælpe denne begrænsning, så rapporten præsenterer derefter et overblik over de mange muligheder for innovation i den måde, vi bruger energi på, samt hvordan vi genererer den.

De globale udledninger stiger stadig, og behovet for handling er presserende. Denne rapport har til formål at give os mulighed for at starte en informeret diskussion om de muligheder, der reelt vil føre til nul CO₂-udledning, udledninger inden 2050.

Hovedbudskab: Den globale efterspørgsel efter energi stiger. I Storbritannien er vores efterspørgsel faldet, men kun fordi vi har lukket industrien og nu importerer varer andre steder. Politiske diskussioner har prioriteret banebrydende teknologier i energisystemet, især kulstofopsamling og -lagring, men det er på et så tidligt udviklingsstadium, at det ikke vil reducere emissionerne væsentligt inden 2050.

1.2 Det britiske energisystem nu og i 2050

Klimaforandringer er drevet af udledning af drivhusgasser.

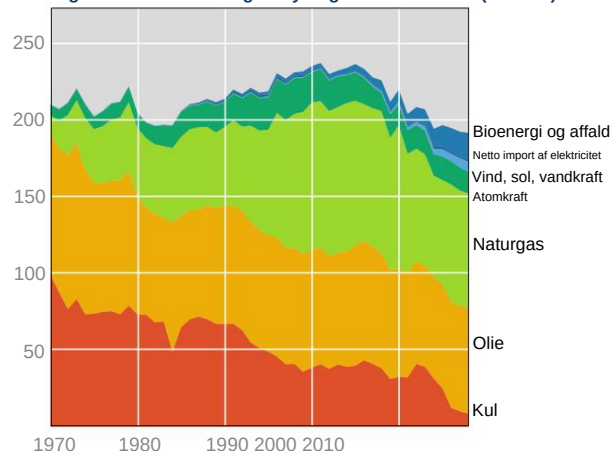
De fleste udledninger stammer fra afbrænding af fossile brændstoffer til at skabe energi; noget af vores energiforbrug er i form af elektricitet.

Disse tre ord, der begynder med "E", forveksles ofte i den offentlige dialog, men figur 1.7 adskiller dem. Tre fjerdedele af de globale emissioner (lidt mere i Storbritannien, fordi vi importerer 50 % af vores fødevarer) stammer fra forbrænding af fossile brændstoffer (kul, gas og olie). Det meste kul og en tredjedel af gassen bruges i kraftværker til at generere elektricitet. Vi genererer dog også elektricitet ved hjælp af atomkraft og fra vedvarende energikilder. Den tredje kolonne i figuren viser, at næsten halvdelen af Storbritanniens nuværende elforsyning kommer fra ikke-emitterende kilder, hvoraf atomkraft og brugen af importerede bioenergi er de vigtigste.

Figur 1.8 viser, hvordan Storbritanniens energiforsyning har udviklet sig i løbet af de sidste tyve år. Den samlede efterspørgsel er faldet på grund af tabet af industri vist i figur 1.6, men vores forbrug af olie og atomkraft har været relativt konstant. (Tallene i begge figurer skjuler det faktum, at Storbritanniens befolkning i denne periode er vokset med 16 %, så vi har forbedret effektiviteten af vores energiforbrug med omkring 0,5 % om året.) Den anden store ændring i figuren er skiftet fra kul- til gasdrevet elproduktion, hvilket har reduceret de britiske emissioner betydeligt.

Figur 1.9 uddrager vores elproduktion fra figur 1.8 – tallene i denne figur for 2018 svarer til dem, der er vist i figur 1.7c – og opdeler dem i udledende og ikke-udledende kilder. Denne figur viser, at Storbritannien gør gode fremskridt med at dekarbonisere sine nuværende niveauer af elforsyning, og hvis de lineære tendenser i figuren fortsætter, så...

Figur 1.8: Primær energiforsyning i Storbritannien (Mtoe/år)

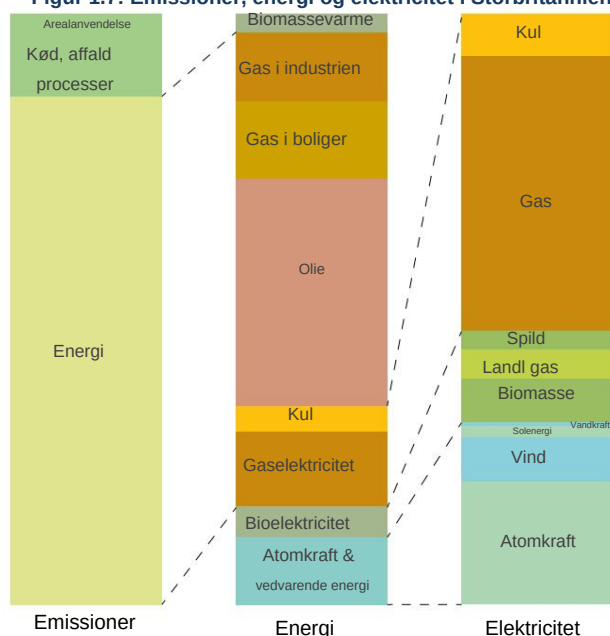


I 2050 kan det forventes, at Storbritannien vil producere omkring 580 TWh elektricitet uden emissioner. Dette tal er vist i figur 1.1 i begyndelsen af dette kapitel.

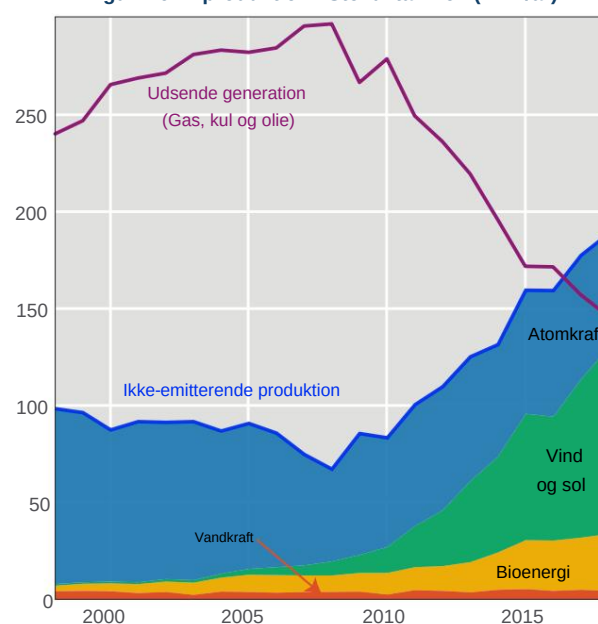
Hvis vi kan styre vores eldistributionssystem og finde måder at lagre elektricitet fra blæsende/solrige tider, så den er tilgængelig i stille/mørke tider, tyder det på, at vi i 2050 vil have omkring 60 % mere elektricitet tilgængelig end i dag, alt sammen fra ikke-emitterende kilder. Fysisk set, selvom Hinckley C-atomkraftværket sandsynligvis vil være færdigt i 2030, vil denne stigning i høj grad komme fra øget vindproduktion. For at imødegå denne vækst fra havvind ville det kræve en tilføjelse af omkring 4,5 GW produktionskapacitet hvert år i de næste 2 årtier (hvilket giver dem tid til at være fuldt operationelle i 2050).

Til sammenligning har Crown Estate netop iværksat en proces til at tildele 7-8,5 GW nye havbundslejemål over de næste 2 år, men Offshore Wind Sector Deal forventer kun statsstøtte til levering af 2 GW/år frem til 2020'erne.

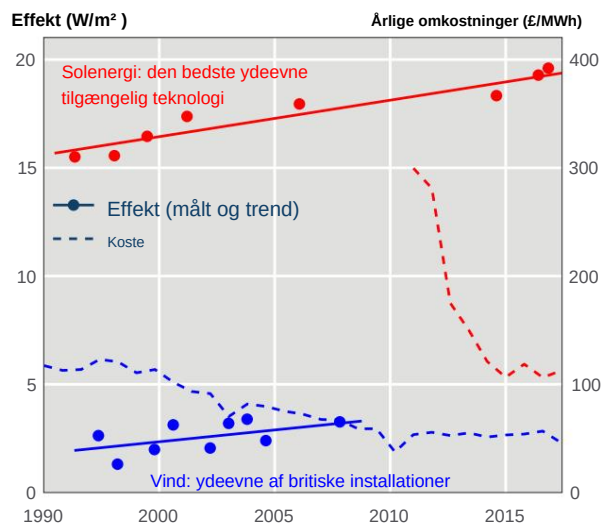
Figur 1.7: Emissioner, energi og elektricitet i Storbritannien



Figur 1.9: Elproduktion i Storbritannien (TWh/år)



Figur 1.10: Udvikling af vind- og solenergi



I mellemtiden viser figur 1.10, hvordan de to muligheder for landbaseret produktion, vindmøller og solenergi, udvikler sig. Begge teknologier bliver billigere, selvom mængden af strøm, der genereres fra hver landenhed, kun stiger langsomt. Udskiftning af eksisterende landbaserede vindmøller med meget højere modeller kan øge den samlede

produktion med 50 %. Øget solproduktion afhænger af arealtildelingen, men det er plausibelt: hvis alle sydvendte tage i Storbritannien var fuldstændig dækket af solceller af høj kvalitet, ville dette bidrage med omkring 80 TWh om året.

Figur 1.7 viser også en række bioenergikilder, der bidrager til Storbritanniens energiforsyning. Alle disse forsyninger forbrændes, hvilket fører til udledning af CO₂, men fordi

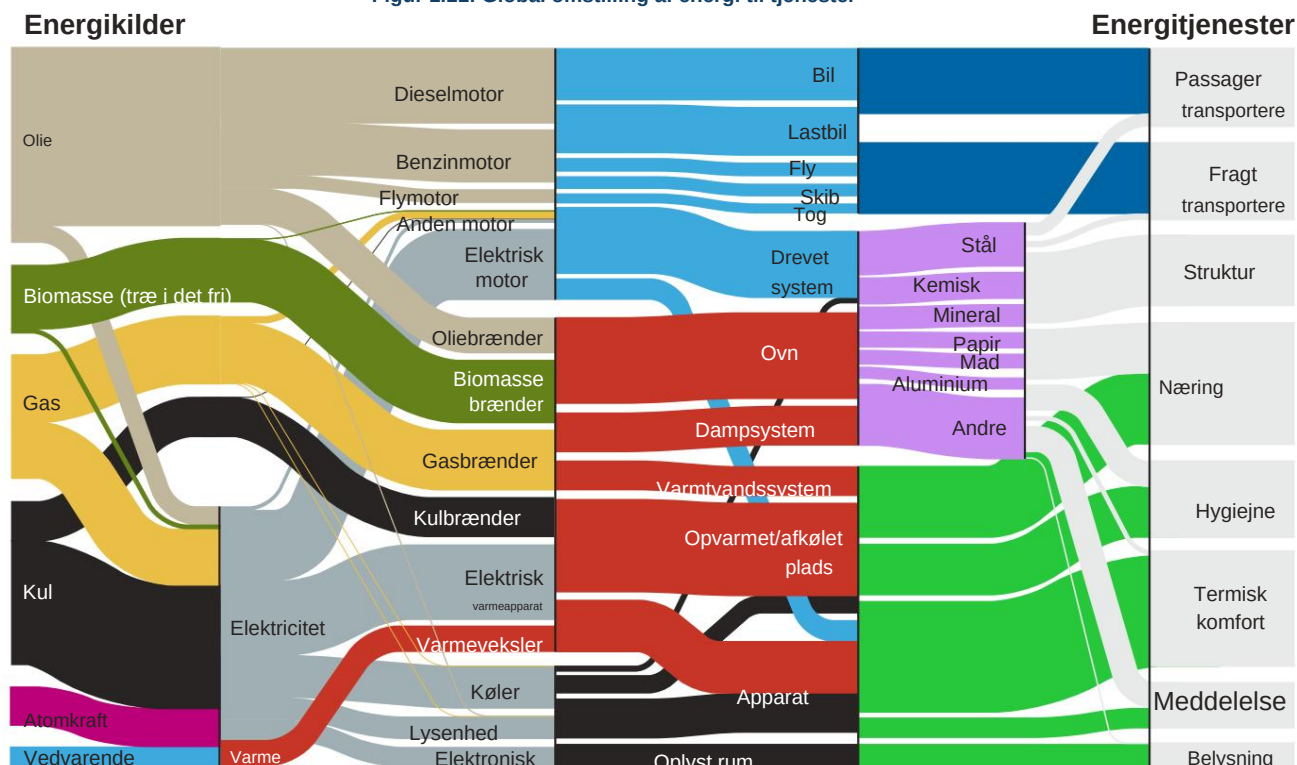
Brændstoffet kommer fra planter, og disse udledninger er en del af den normale cyklus og accelererer derfor ikke klimaforandringerne. Affaldspolitikken har været en succes inden for afbødning af klimaforandringer i Storbritannien siden 1990, hvor organisk affald har sorteres og i vid udstrækning forarbejdes i anaerobe biogasanlæg for at producere metan til elektricitet. Denne kilde vil dog sandsynligvis ikke stige yderligere. I mellemtiden konkurrerer bioenergi, der stammer direkte fra ny plantevækst, med brugen af biomasse til fødevarer, så det er usandsynligt, at den vil stige (se bokshistorien på side 13).

Denne diskussion tyder på, at Storbritannien med nutidens teknologier og plausible udvidelsesrater i 2050 vil have en energiforsyning uden CO₂-udledning, der udelukkende består af elektricitet med omkring 60 % mere end den produktion, vi har i dag.

Hvor meget af fordelen ved al den energi, vi bruger i dag, vil vi kunne nyde godt af uden fossile brændstoffer, men med 60 % mere elektricitet? Ved første øjekast lyder det som en betydelig reduktion - figur 1.7 viste, at elektricitet i dag kun dækker omkring en tredjedel af vores samlede energibehov, så tilsyneladende ville vi have brug for en stigning på 200 % i elproduktionen? Faktisk er dette ikke tilfældet, fordi den endelige omdannelse af elektricitet til varme eller rotation er meget effektiv sammenlignet med de fossile brændstøfækvivalenter.

Hvis Storbritannien skal køre udelukkende på elektricitet, skal alle apparater, der i øjeblikket drives af fossile brændstoffer, erstattes af elektriske ækvivalenter. Figur 1.11 viser, hvordan energi bruges globalt. (Vi har i øjeblikket ikke en tilsvarende for Storbritannien, men Storbritannien vil sandsynligvis være lignende, dog med mindre industriel brug på grund af vores

Figur 1.11: Global omstilling af energi til tjenester

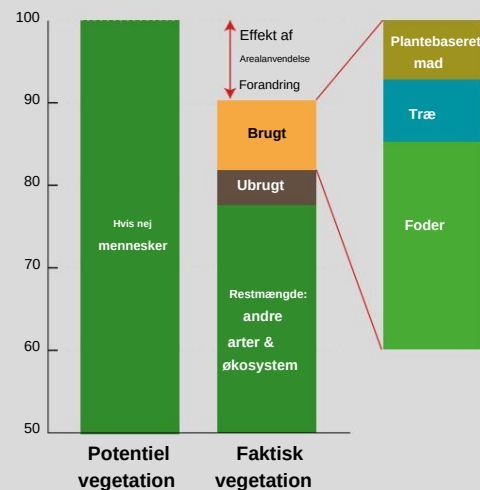


Hvad er problemet med bioenergi?

Verdens fattigste mennesker holder varmen og laver mad med træ, der brændes i åbne ovne, og denne energikilde optræder betydeligt i de globale energiforsyninger i figur 1.11. Kunne vi bruge moderne teknologi til at udnytte endnu mere biomasse til at fremstille andre brændstoffer, såsom biodiesel eller petroleum? Figur 1.12 viser, at mere end 20 % af verdens samlede årlige høst af ny biomasse allerede er 'tilegnet' af mennesker til træ, mad og foder. Denne årlige høst er den grundlæggende

kilde til levesteder og føde for alle ikke-akvatiske arter. Enhver yderligere tilegnelse fra menneskers side vil sandsynligvis være farligt skadelig for andre arter, og effekten af skovrydning er allerede en væsentlig bidrager til emissionerne i figur 2.10. Dette tyder på, at moderne biobrændstoffer er uforenelige med enhver bredere bæredygtighed af liv på jorden.

Figur 1.12: Menneskelig tilegnelse af biomasse



afhængighed af import.) Linjernes bredder i figuren er proportionale med energiforbruget, og ethvert lodret snit gennem diagrammet kan omdannes til et cirkeldiagram over hele verdens energiforbrug. Figur 1.11 viser i realiteten seks sammenhængende cirkeldiagrammer, der hver især opdeler statistikken over hele verdens energiforbrug i forskellige kategorier.

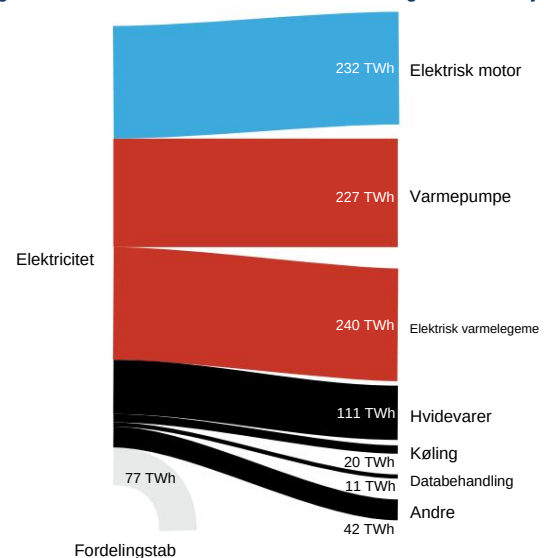
Figuren viser, at det meste energiforbrug bruges i motorer, brændere og varmeapparater til at skabe bevægelse eller varme. Til For at estimere den nødvendige elektricitet, hvis alle disse enheder udskiftes, bruger vi den gennemsnitlige effektivitet vist i figur 1.13: for eksempel ved vi, hvor meget strøm der i øjeblikket leveres i britiske biler af benzinmotorer, så vi kan bruge figur 1.13 til at forudsige, hvor meget elektricitet der vil være nødvendig for at levere den samme effekt fra elmotorer. Kombinationen af denne omregning med en anslået befolkningstilvækst på 11% fører til vores forudsigelse af, at vi ville have brug for 960 TWh elektricitet inden 2050. (En terawatt-time, Twh, er tusind

millioner kilowatt-timer - den enhed, der normalt bruges i britiske energiregninger.) Det endelige behov for elektricitet er fordelt mellem bevægelse, opvarmning og apparater som vist i figur 1.14.

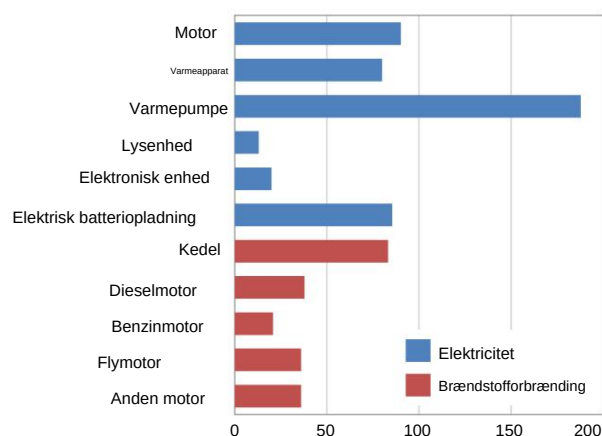
Hvis Storbritannien er fuldt elektrificeret inden 2050, og vi bruger de samme sluttjenester som i dag, vil vores energibehov som elektricitet være 960 TWh. Baseret på en lineær fremskrivning af den hastighed, hvormed vi har udvidet vores ikke-emissionsbaserede elforsyning i de seneste 10 år, estimerer vi dog, at vi kun vil have 580 TWh til rådighed. Derfor kræver vores forpligtelse til absolut nul emissioner i 2050 en begrænsning i vores energiforbrug til omkring 60 % af dagens.

niveauer.

Figur 1.14: Krav i Storbritannien om elektrificering af nutidens tjenester



Figur 1.13: Effektivitet af energiomdannelsesenheder (%)



Hovedbudskab: Hvis vi kun brugte elektricitet, ville levering af al den transport, varme og varer, vi bruger i Storbritannien, kræve 3 gange mere elektricitet, end vi bruger i dag. Hvis vi udbygger vedvarende energi så hurtigt som muligt, kan vi levere omkring 60 % af dette behov med nul emissioner i 2050. Derfor skal vi i 2050 planlægge at bruge 40 % mindre energi, end vi bruger i dag, og alt skal være elektrisk.

1.3 Nul udledning i Storbritannien i 2050

Ud over at begrænse vores energibehov til 60 % af det nuværende niveau, vil opfyldelsen af vores juridiske forpligtelse til nul emissioner kræve, at vi udfaser alle energiforbrugende aktiviteter, der ikke kan elektrificeres, og alle emissionskilder ud over forbrænding af fossile brændstoffer. Planlægning heraf kræver, at vi træffer en kollektiv beslutning om omfanget af vores ansvar. Den britiske klimalov blev skrevet for at forpligte os udelukkende på baggrund af emissioner, der forekommer på britisk territorium. Dette udelukker dog international luftfart og skibsfart samt vores nettoimport af varer. Som følge heraf ser det ud til at være en succes for britisk klimapolitik, når vi lukker britisk industri og i stedet importerer varer – selvom dette ikke vil reducere de globale emissioner og ofte kan øge dem, hvis de lukkede britiske processer var mere effektive. Selvom disse begrænsninger var nyttige til at vedtage klimaloven, ser de nu moralsk tvivlsomme ud, og de formår heller ikke at skabe stimulans til innovation og vækst i britiske virksomheder og industrier, der er klar til en fremtid med nul emissioner.

Denne rapport antager derfor, at Storbritannien bør være ansvarlig for emissionerne fra hele sit forbrug.

Figur 1.15 viser en analyse af alle globale drivhusgasemissioner i et format svarende til figur 1.11. I dette tilfælde vises de endelige tjenester, der driver de aktiviteter, der forårsager emissioner, til venstre i diagrammet, hvilket fører til drivhusgasser i højre side af diagrammet, som forårsager global opvarmning. Den gule løkke midt i figuren viser, at de fleste industrielle emissioner er forbundet med produktionen af bygninger, køretøjer og andet udstyr, der leverer endelige tjenester fra energi,

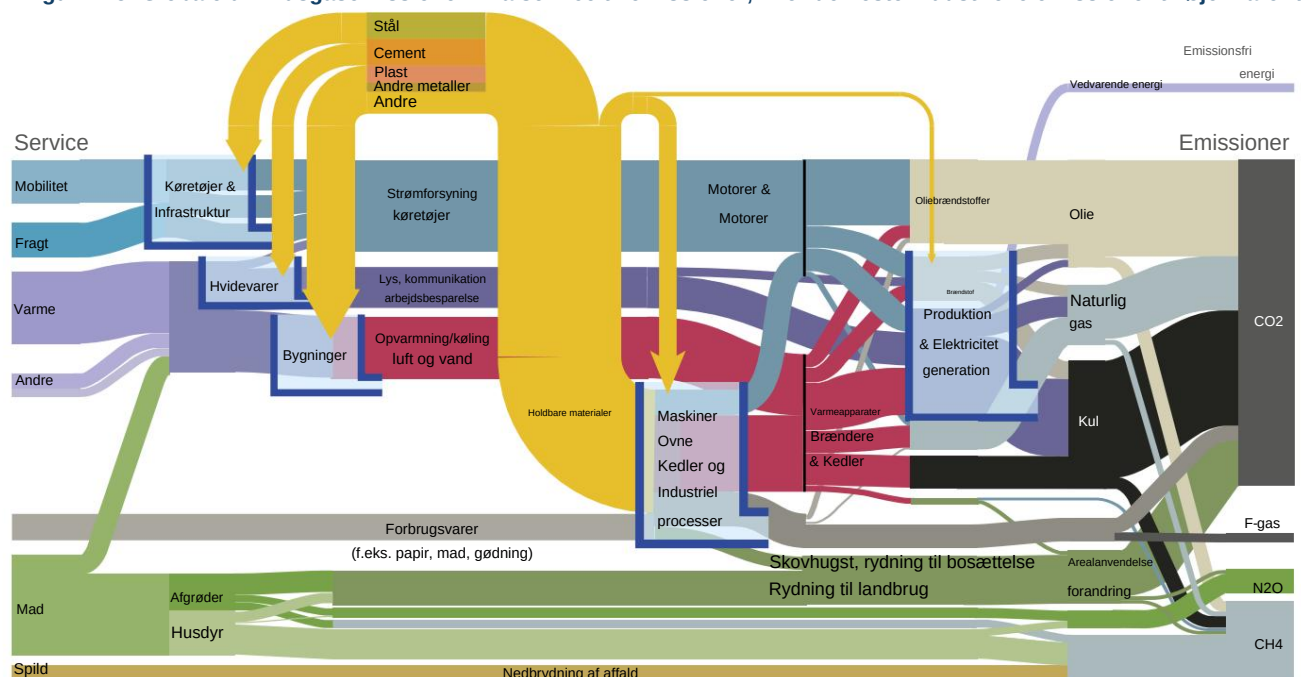
men som i sig selv kræver energi i produktionen. Dette er vigtigt, fordi størstedelen af årets industrielle produktion går til at producere udstyr (varige varer), der vil holde i flere år. De tjenester, der leveres på et år, afhænger derfor af akkumuleringen af et lager af varer fremstillet i tidligere år - og dette langtidsholdbare lager begrænser den hastighed, hvormed der kan ske ændringer i vores samlede emissioner. Hvis biler f.eks. i gennemsnit holder i 15 år, skal den sidste ikke-elektriske bil være blevet drevet af en bil, der skal bruges til at sikre, at alle biler er elektriske i 2050.

solgt senest i 2034. Ligesom med figur 1.11 er figur 1.15 baseret på globale data - igen for at afspejle konsekvenserne af det britiske forbrug snarere end dets "territoriale" emissioner.

De tre øverste fjerdedele af denne figur viser emissionskonsekvenserne af vores energiforbrug. De to kritiske former for udstyr, der ikke kan elektrificeres med kendt teknologi, er fly og skibe. Selvom Solar-Impulse 2, et soldrevet elektrisk fly med én sæde, fløj rundt om Jorden i 2016, er det vanskeligt at opskalere soldrevne fly på grund af den langsomme forbedring af solcelleproduktionen, put i arealenhed vist i figur 1.10. I mellemtiden hæmmes batteridrevet flyvning af batteriernes høje vægt, mens biobrændstofferstatninger for petroleum står over for den samme konkurrence om...

land med fødevarer som beskrevet i afsnit 1.2, og der er ingen andre færdige og passende teknologier til energilagring. Som følge heraf skal al flyvning, under begrænsningen af at planlægge for nul emissioner med kendte teknologier, udfases inden 2050, indtil nye former for energilagring kan skabes. I øjeblikket har vi heller ingen elektriske handelsskibe. Der er ikke plads til at have nok solceller på et skib til at generere nok energi til at drive det, og der har endnu ikke været noget forsøg på at bygge en batteridrevet container.

Figur 1.15: Globale drivhusgasemissioner - fra service til emissioner, hvor de fleste industrielle emissioner tilføjer varer til lageret





Skib. Atomdrevne flådeskibe er i drift, men uden erfaring med deres anvendelse til fragt kan vi ikke med sikkerhed antage, at atomskibsfart vil operere i nogen skala i 2050. Dette er en alvorlig udfordring: med nutidens teknologier skal al skibsbaseret handel være udfaset inden 2050.

Figur 1.15 viser endvidere, at de to vigtigste kilder til ikke-energi-relaterede emissioner er landbrug og industrielle processer. Landbrugsemissioner stammer primært fra drøvtyggere – især køer og får – som fordøjer græs i den første af deres to maver i en proces, der frigiver metan, og fra ændringer i arealanvendelsen. Omdannelse af skovbrug til landbrugsjord fører til frigivelse af det kulstof, der er lagret i skoven, og tabet

af fremtidig kulstofflagring, efterhånden som træerne vokser. Derudover frigiver pløjning af jorden kulstof, der er lagret i jorden, og brugen af kvælstofbaseret gødning til at stimulere plantevækst fører til yderligere emissioner. Motivationen for denne omdannelse af skovarealer er at øge fødevarerproduktionen, men forværres kraftigt af efterspørgslen efter kødspisning.

Dyrkning af korn og andet foder til køer, grise og får er usædvanligt ineffektivt, da der kræves op til 80 gange mere korn for at producere de samme kalorier til et måltid af kød som til et måltid lavet af det oprindelige korn. Som følge heraf kræver vores forpligtelse til nul emissioner i 2050, at vi afholder os fra at spise oksekød og lam.

Tre industrielle processer bidrager med betydelige emissioner ud over dem, der er relateret til energi. Højovne, der fremstiller stål af jernmalm og koks, udleder kuldioxid og

Halvdelen af udledningen fra den nuværende cementproduktion stammer fra den kemiske reaktion, når kalksten kalcineres

at blive til klinker. Der er ingen alternative processer

tilgængelige til at levere disse materialer, og selvom gammelt stål kan genbruges effektivt i elektriske lysbueovne, er der ingen emissionsfri alternativer til cementproduktion i nogen skala. Som følge heraf vil en nul-emissionsøkonomi i 2050 ikke have cementbaseret mørtel eller beton, og

intet nyt stål. Manglen på cement er den største enkeltstående udfordring i forbindelse med at opnå det absolutte nulpunkt, da det i øjeblikket er afgørende for at levere infrastruktur, bygninger og nye energiteknologier.

Den endelige kilde til direkte industrielle emissioner er

gruppe af "F-gasser", der har forskellige anvendelser, herunder som kølemidler, opløsningsmidler, fugemasser og til fremstilling af skum. Det kan være muligt at fortsætte nogle af disse anvendelser efter 2050, hvis gasserne indesluttet under brug og ved produktets levetid.

Det er muligt at opnå det absolutte nulpunkt om tredive år med nutidens teknologier. Vores energiforsyning vil være 60 % mindre end i dag, og udelukkende i form af elektricitet, men bortset fra flyvning og skibsfart kan alle andre energianvendelser elektrificeres. Socialt motiverede tiltag fører til ændringer i både rejser og kost. Den mest udfordrende begrænsning er på de bulkmaterialer, der anvendes i byggeriet, især i mangel af cement, hvilket vil begrænse udbredelsen af nye energiforsyninger og den økonomiske udvikling, der afhænger af byggeri.

Men på trods af disse begrænsninger er det mest slående træk ved denne analyse, hvor mange aspekter af nutidens livsstil, der ikke påvirkes. Mange af de fritids- og sociale aktiviteter, vi nyder mest, kan fortsætte med få ændringer, mange former for arbejde i servicesektoren vil blomstre, og overgangen

Det nødvendige vil også føre til betydelige vækstmuligheder, for eksempel inden for vedvarende elforsyning og -distribution, renovering af bygninger, el og varme, indenrigsrejser, materialebesparelse, plantebaseret kost og elektrificeret transport. At opnå absolut nul inden for tredive år med nutidens teknologier kræver tilbageholdenhed, men ikke fortvivlelse, og selvfølgelig vil enhver innovation, der udvider serviceleveringen uden emissioner, afhjælpe den nødvendige tilbageholdenhed. Det er temaet for andet kapitel i denne rapport.

Hovedbudskab: Ud over at reducere vores energibehov kræver det at opnå nul emissioner med nutidens teknologier, at vi udfaser flyvning, skibsfart, lamme- og oksekød, højovnsstål og cement. Af disse er skibsfart i øjeblikket afgørende for vores velbefindende - vi importerer 50 % af vores fødevarer - og vi ved ikke, hvordan vi bygger nye bygninger eller installerer vedvarende energikilder uden cement. Behovet for denne begrænsning vil blive afhjulpet, efterhånden som innovation implementeres, men mange af vores mest værdsatte aktiviteter kan fortsætte og udvides, og Absolut Nul skaber muligheder for vækst på mange områder.

2. Innovationer til at udnytte mindre energi bedre

Hovedbudskab: Med gradvise ændringer i vores vaner og teknologier er der flere muligheder for at leve lige så godt, som vi gør i dag, med 60 % af energien. Med elektriske varmepumper og bedre isolering kan vi holde os lige så varme. Med mindre elbiler kan vi holde os i bevægelse, og ved at bruge materialer bedre kan vi gøre bygninger og varer compatible med vores nul-emissionslov.

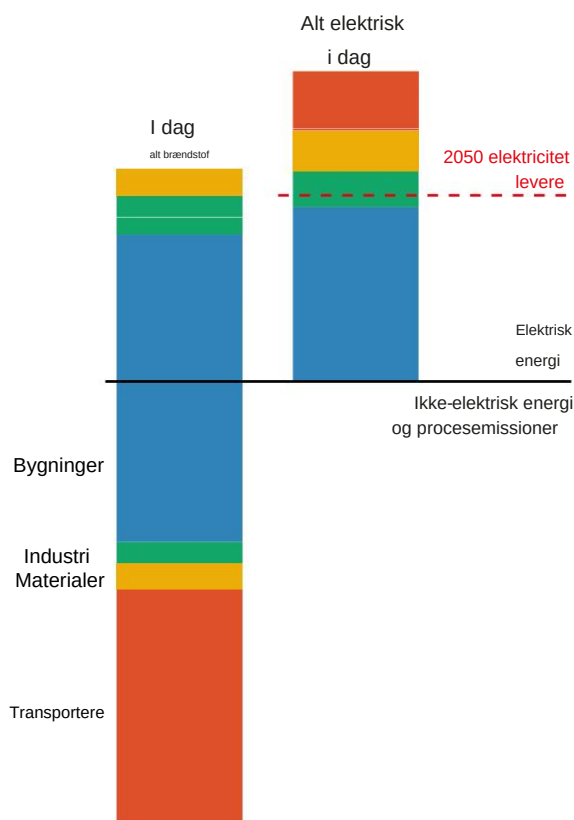
Dette kapitel starter med analysen af elektrificering i kapitel 1, opsummeret i figur 2.1: under strengen skal al nutidens ikke-elektriske anvendelse af energi elektrificeres.

Enhver aktivitet, der fører til emissioner uanset energikilde, eller som ikke kan elektrificeres, skal udfases. Hvis vi elektrificerer alle resterende aktiviteter med nutidens teknologier, har vi brug for den mængde elektricitet, der er vist i anden kolonne - men vi vil kun have 60 % af den mængde til rådighed. For hver af sektorerne i figur 2.1 ser vi derfor på alle mulighederne for en mere effektiv fremtid.

Afsnit 2.1 fokuserer på den måde, vi bruger energi direkte på - i bygninger og køretøjer - og på den måde, vi indkøber vores fødevarer på. Afsnit 2.2-2.4 undersøger, hvordan vi fremstiller ting - først ved at se på, hvordan vi producerer materialer, hvilket er det, der driver de fleste af nutidens industrielle emissioner, og derefter på, hvordan vi bruger dem i byggeri og fremstilling. Det viser sig, at vi allerede er meget effektive i vores energiforbrug, når vi fremstiller materialer, men spilder materialerne - så der er masser af muligheder for at leve godt, mens vi bruger halvt så meget materiale i dobbelt så lang tid.

For fuldstændighedens skyld gennemgår vi i afsnit 2.5 de "banebrydende teknologier", som sandsynligvis ikke vil være betydelige inden 2050, men som kan udvides bagefter.

Figur 2.1: Oversigt over det absolutte nulpunkt



2.1 Produkter i brug og forbrugsvarer

I Storbritannien tegner brugen af færdigvarer og forbrugsvarer sig for næsten tre fjerdedele af den nuværende årlige emissioner. 12% af Storbritanniens emissioner kommer fra indenlandske fødevarerproduktion, affaldsbortskaffelse og ændringer i arealanvendelse, men to tredjedele produceres af vores brug af køretøjer og bygninger. Disse kommer hovedsageligt fra vejtransport og opvarmning i bygninger, men i hvilken grad kan innovation bidrage til at reducere disse emissioner til nul?

Energiforbrug i bygninger

Figur 2.2 viser, at det meste energiforbrug i bygninger går til opvarmning af luft (rum) og vand, primært ved forbrænding af gas i individuelle kedler i hver bygning. Absolut nul emissioner kræver en fuldstændig elektrificering af energiforbruget i bygninger. Selvom apparater og belysning allerede er elektriske, skal rum- og vandopvarmning ændres.

Varmepumper, der er baseret på principper svarende til det velkendte køleskab i hjemmet - men omvendt - tilbyder et levedygtigt alternativ til gasfyr. Da varmepumper er omkring fire gange mere effektive end direkte forbrændingsvarme, kan en fuldstændig implementering af bedste praksis varmepumper spare cirka 80 % af det nuværende energiforbrug til opvarmning. Varmepumper kan bruges i to former: som en direkte erstatning for et gasfyr kan de levere varmt vand til et konventionelt radiatorsystem. Den bedste anvendelse af varmepumper er dog med kanaliseret luftopvarmning - hvilket kræver en mere indgribende ændring af en bygning, men sparer mere energi. Implementering af varmepumper ville næsten fordoble forbruget af elektricitet i bygninger fra det nuværende niveau, så yderligere interventioner for at reducere varmebehovet er også vigtige.

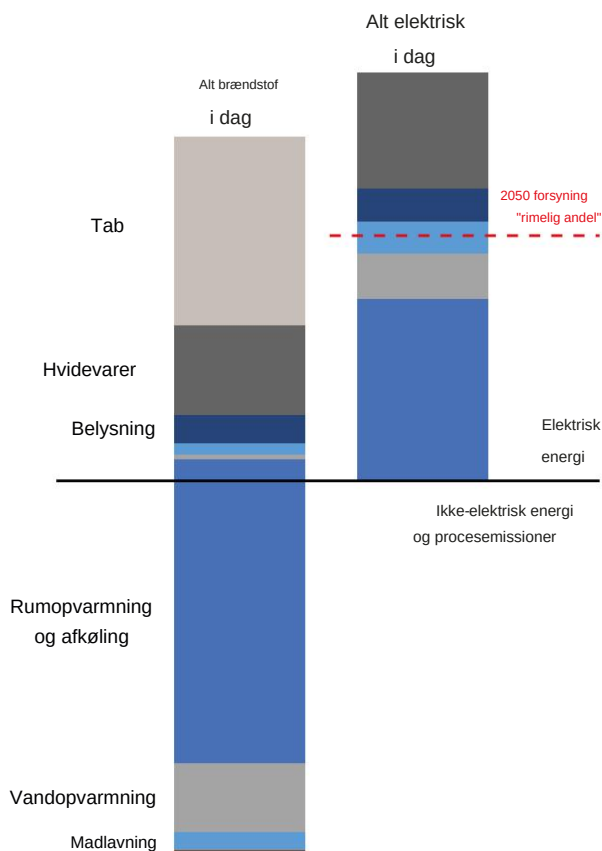
Nye bygninger er meget mere effektive end gamle victorianske huse, der stadig er i brug i dag — bedre isolering og design resulterer i meget mindre varmebehov. Imidlertid

Udskiftningen af bygningsmasse i Storbritannien er meget langsom - vi kan lide gamle bygninger - så renovering af gamle huse er vigtig. Vi har allerede gjort en betydelig indsats for at renovere termoruder og installere isolering af høj kvalitet i tage og lofter, og dette kunne gennemføres efter stadigt højere standarder for at reducere den nationale energibehov til opvarmning.

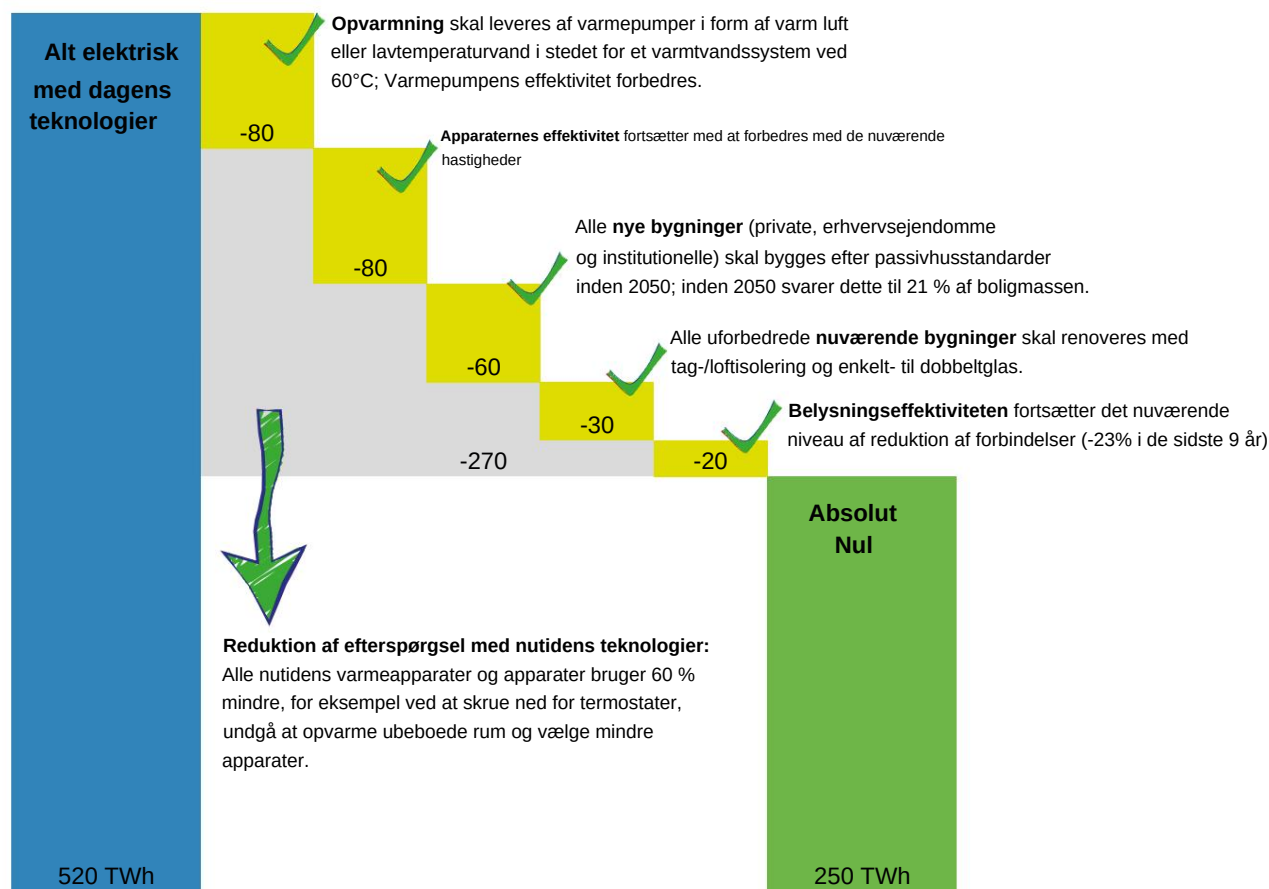
For nybyggede huse er passive designs, der kun bruger solen til opvarmning og kun behøver elektricitet til ventilation, belysning og apparater, nu veletablerede. Indtil 2015 promoverede Storbritanniens standarder for nul-kulstof-huse denne form for design, som anvendes strengt i Sverige, og med den nuværende byggehastighed ville det påvirke 20 % af Storbritanniens boliger, hvis det håndhæves nu. Prisen på huse bygget efter passivstandarden er cirka 8-10 % højere end standardbyggeri, og de tykke vægge, der kræves, reducerer den tilgængelige indvendige plads en smule til gengæld for nul energiregninger.

Figur 2.3 opsummerer mulighederne for at drive bygninger under det absolutte nulpunkt: Uanset hvad der sker, skal vi elektrificere al opvarmning. Vi kan så enten bruge opvarmningen i 60 % af den tid, vi bruger den i dag, eller anvende andre trinvis ændringer i bygningsdesignet for at opretholde nutidens komfort med 60 % af energitilførslen.

Figur 2.2: Energiforbrug i bygninger



Figur 2.3: Reduktion af energiforbruget i bygninger med inkrementelle teknologier eller reduktion af efterspørgsel med nutidens teknologi



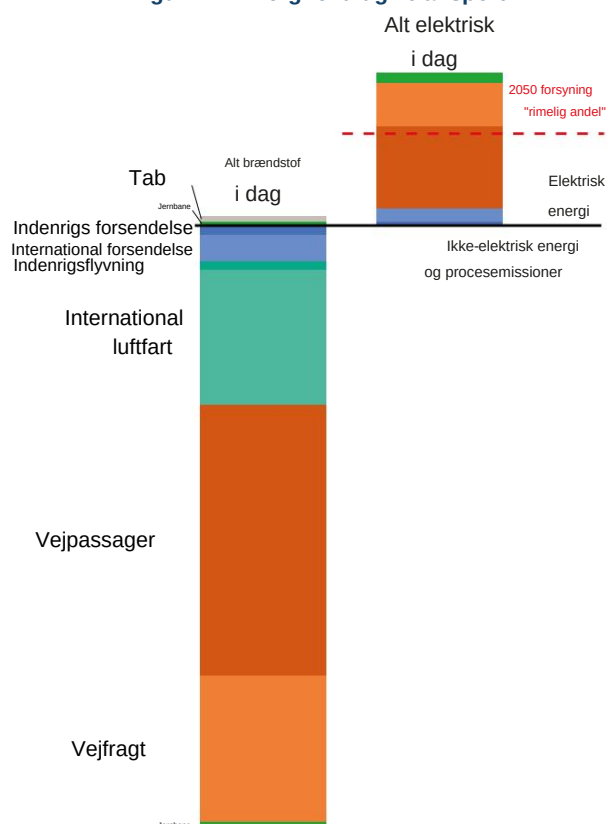
Brug af energi i transport

Figur 2.4 viser, at næsten al transport i dag involverer direkte forbrænding af fossile brændstoffer i køretøjet, hvor kun 1% af transporten drives af elektricitet i elektriske tog. Uden teknologiske muligheder til at erstatte fly og skibe med elektriske ækvivalenter antager den anden kolonne i figuren, at disse transportformer er blevet udfaset om tredivede år, så den elektricitet, der er tilgængelig til transport, kan fordeles mellem jernbane- og vej-køretøjer.

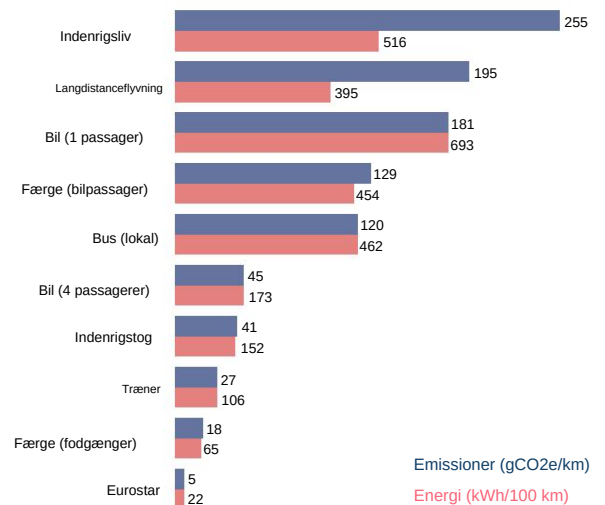
Figur 2.5 viser muligheden for energibesparelser ved at justere den måde, vi rejser på. Figuren viser både energi- og emissionskonsekvenserne af, at en person rejser en kilometer med forskellige transportmidler: disse to tal er tæt korrelerede bortset fra flyvning, hvor emissionerne i stor højde forårsager yderligere opvarmningseffekter. Figuren understreger, hvor vigtigt det er at stoppe med at flyve - det er den mest udledende transportform, og vi bruger fly til at rejse de længste afstande. Et typisk internationalt fly kører med omkring 900 km/t, så flyvning på økonomiklasse svarer til 180 kg CO₂e pr. person i timen (det dobbelte på business class, firedobbelt på første klasse på grund af det optagne gulvareal). At flyve i ~30 timer om året svarer således til en typisk britisk statsborgers årlige emissioner.

De vigtigste strategier til at reducere energiforbruget i transport afhænger af rejseformen. Korte rejser involverer hyppige stop og genstart, så en betydelig

Figur 2.4: Energiforbrug i transport



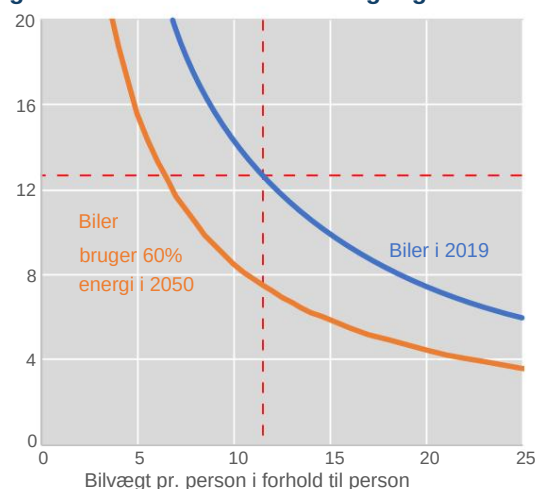
Figur 2.5: "Modeskift" for personlig transport



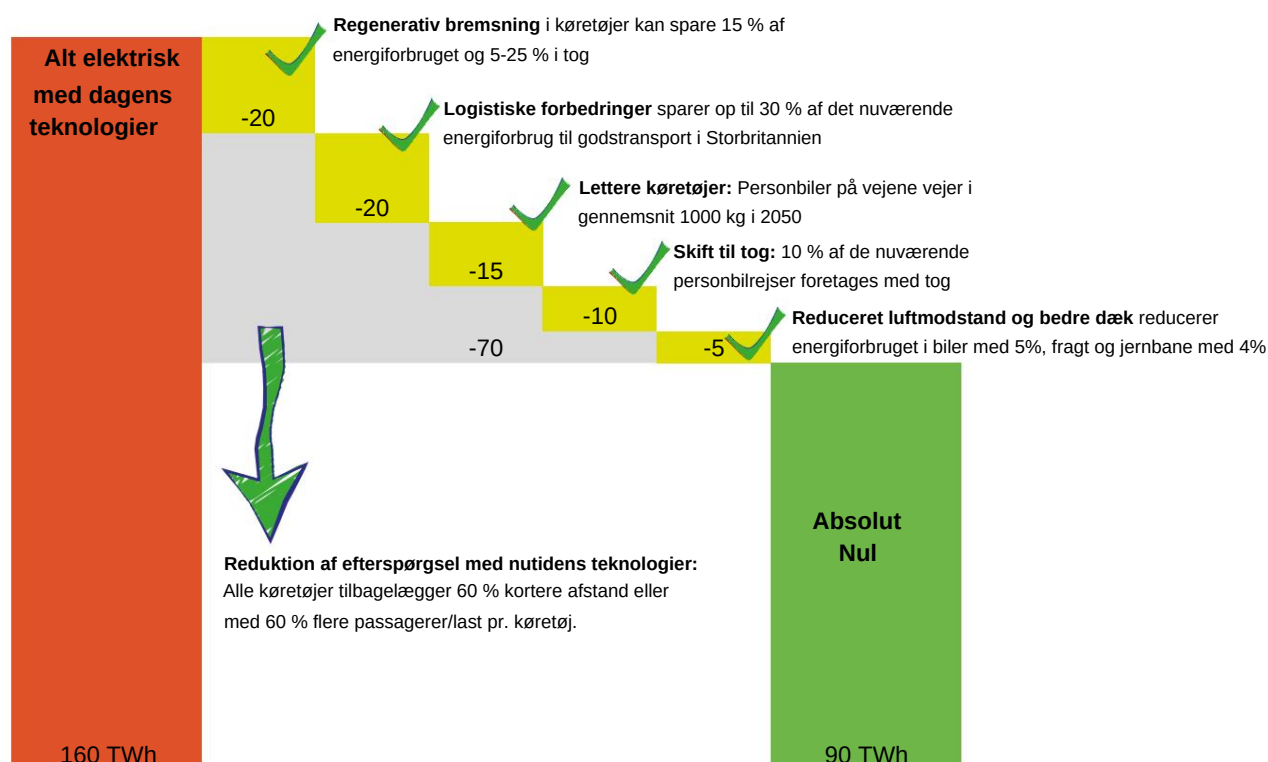
En andel af energien bruges til at accelerere et køretøj og dets indhold. Som følge heraf bliver reduktion af køretøjets vægt og færre rejser nøglestrategier til at reducere energiforbruget. I øjeblikket bruges britiske biler i gennemsnit med 1,8 personer indeni, men vejer omkring 1.400 kg, hvilket er ~12 gange mere end passagererne, så næsten al benzin bruges til at flytte bilen, ikke personerne. Figur 2.6 illustrerer, hvordan reduktion af forholdet mellem køretøjets vægt og passagerernes vægt afvejes med den tilbagelagte afstand og det anvendte energiforbrug. Regenerativ bremsning giver en teknologisk mulighed for at genvinde noget af den energi, der bruges til at accelerere køretøjer, og er under aktiv udvikling.

Ved langdistancerejser bruges det meste energi på at overvinde luftmodstand, så nøglen til at reducere energiforbruget er at reducere tophastigheder (aerodynamiske kræfter stiger med hastigheden i anden potens) og luftmodstand ved at bruge lange og tynde køretøjer - tog. Jernbanetransport er således den mest effektive transportform til langdistancerejser, og hvis en højere andel af rejserne foretages med tog snarere end bil,

Figur 2.6: Bilkørsel - handelsvægt og afstand



Figur 2.7: Reduktion af energiforbruget inden for transport med inkrementelle teknologier eller reduktion af efterspørgsel med nutidens teknologi



Der kan opnås betydelige energibesparelser uden tab af kilometertal. Et fuldt elektrisk tog kan transportere mennesker med 40 gange mindre energi pr. passager end en enkeltbil.

Andre transportformer kan også reducere energiforbruget inden for transport. For eksempel foregår cirka 20 % af al tilbagelagt afstand i Holland på cykel, sammenlignet med kun 1 % i Storbritannien.

Selvom der er muligheder for at reducere energiforbruget ved at skifte transportform inden for godstransport, kan der også opnås betydelige besparelser gennem logistiske forbedringer. Op til 30 % af energiforbruget inden for fragt kunne spares med en optimeret placering af distributionscentre og med

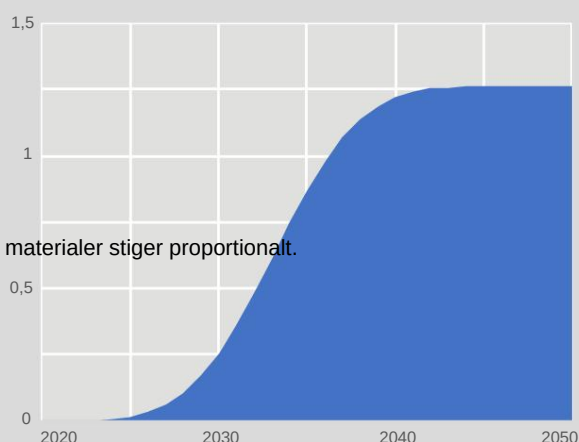
oprettelsen af nye samarbejdsnetværk for at fremme samlastning. Teknologi til at lette implementeringen af disse logistiske strategier findes allerede eller forventes at blive tilgængelig i løbet af de næste fem år, selvom dette også kræver nye virksomhedspartnerskaber.

Figur 2.7 opsummerer mulighederne for at elektrificere britisk transport og bruge 60 % af energien. Enten modificeres køretøjerne - med regenerativ bremsning, reduceret luftmodstand og rullemodstand (bedre dæk) og vægtreduktioner, eller vi kan vælge at bruge dem mindre - gennem samkørsel, bedre fragthåndtering eller en samlet reduktion af den tilbagelagte afstand.

Kan vi fremstille og genbruge nok batterier?

Fremstilling af lithiumbatterier kræver en bred vifte af metaller, hvoraf de fleste kun findes i naturen i meget lave koncentrationer. Kobolt er en af de mest værdifulde og er i øjeblikket afgørende for batteriers stabilitet og levetid. Hvis salget af nye biler skal være fuldstændig elektrisk inden for 5 år, skal vi producere 50 millioner batterier inden 2050, alene i Storbritannien. Størstedelen af koboltproduktionen opnås som et biprodukt fra nikkel- og kobberminedrift, så den kan kun udvides, hvis efterspørgslen efter disse materialer stiger proportionalt. Batterier kan genbruges, men det er vanskeligt at adskille materialerne i dem, og det er derfor i øjeblikket billigere at udvinde nye metaller end at genbruge. Der er ingen simpel måde at genbruge lithiumbatterier på i øjeblikket, men stigningen i gamle batterier vist i figur 2.8 bør udløse innovation for at imødegå dette.

Figur 2.8: Anslået mængde af elbilbatterier, der når slutningen af deres levetid i Storbritannien (millioner/år)



Arealanvendelse, mad og affald

Figur 1.15 viste, at omkring en fjerdedel af de globale emissioner stammer fra god produktion og nedbrydning af organisk affald. De britiske tal i figur 1.7 viser, at denne andel er tættere på en sjettedel, hvilket afspejler det faktum, at Storbritannien importerer omkring halvdelen af sine fødevarer.

Figur 2.10 giver flere detaljer om disse ikke-energi- og ikke-

industrielle emissioner.

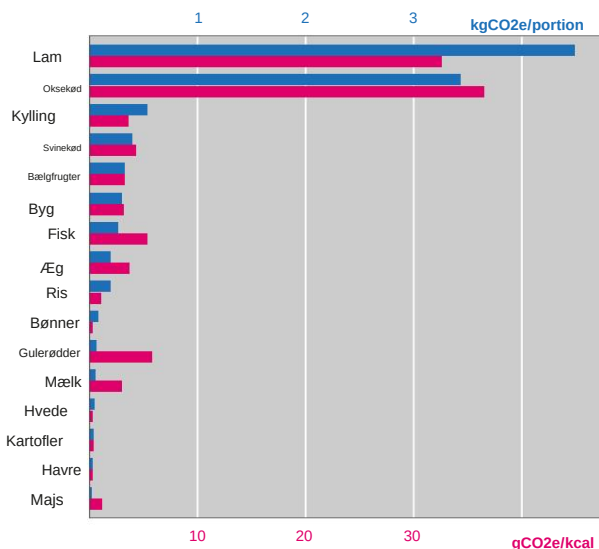
Når biomasseaffald nedbrydes til kompost, frigiver det enten kuldiioxid (hvis biomassen er i kontakt med luft) eller metan, som er en langt mere potent drivhusgas og den primære årsag til emissionerne fra nedbrydning af affald. Metan er dog den gas, vi bruger til madlavning eller til gasfyret elproduktion, og den største succes med den seneste britiske klimapolitik har været at reducere disse emissioner betydeligt. Husholdninger over hele Storbritannien forventer nu at smide organisk affald ud i deres grønne beholdere, som indsamles som råmateriale til anaerobe rådneanlæg, der genererer metan til energiproduktion, som vist i figur 1.7. Som et resultat er metanemissionerne fra lossepladser i Storbritannien reduceret med mere end 50 % siden 1990 og vil være tæt på nul i 2050.

De andre store kilder til emissioner i figur 2.10 er i høj grad relateret til drøvtyggere – køer og får – der dyrkes til kød- og mejeriforbrug.

Drøvtyggere fordøjer græs i deres første mave, hvilket fører til metanudledning (enterisk fermentering), samtidig med at det frigiver metan med deres gødning. Parallelt hermed driver den stigende globale efterspørgsel efter fødevarer efterspørgslen efter øget biomasseproduktion, omkring halvdelen af dette går til at fodre dyr, og det driver igen

Skovrydning. Træer er et betydeligt kulstoflager, så rydning øger udledningen enten som CO₂, hvis træet brændes, eller mere skadeligt som metan, hvis det rådner. Den klare implikation af figur 2.10 er, at det at spise lam og oksekød

Figur 2.9: Emissionsintensiteter fra fødevarer



vil være uforenelig med det absolutte nulpunkt.

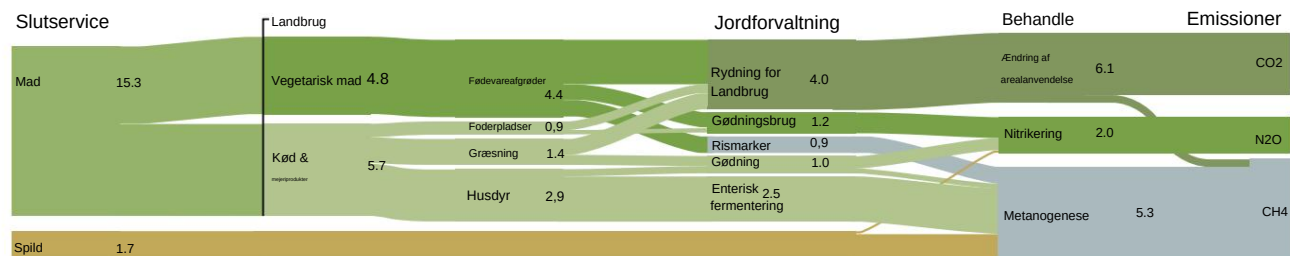
Denne besked er understreget i figur 2.9, som giver en estimat af emissionerne forbundet med et måltid med typiske portioner af forskellige kostvaner. Figuren viser, at et vegetarisk måltid ikke er emissionsfrit, og et kødbaseret måltid (med svinekød eller kylling) har muligvis ikke meget større effekt end et baseret på bælgfrugter. Drøvtyggerkød skiller sig dog ud og er derfor en prioriteret handling i retning af Absolut nul.

Markedet for vegetarisk mad vokser i øjeblikket hurtigt, da den stigende sociale bekymring over emissioner har motiveret mange individer til at skifte til en mere plantebaseret kost.

Der er et betydeligt potentiale for innovation i at udvide og udvikle nye fremstillede køderstatninger.

Forskning er også begyndt at undersøge, om alternativer foder kunne eliminere udledninger fra drøvtyggere, men dette er ikke tilfældet endnu moden.

Figur 2.10: Globale emissioner fra landbrug og organisk affald (i alt i 2010: 17 Gt CO₂e)



Hovedbudskab: De fleste af de britiske livsstile i dag kan fortsætte og vokse inden for målet om det absolutte nulpunkt. Ændring af den måde, vi rejser på (især at undgå at flyve og bedre udnytte hjulkøretøjer), holder varmen (ved at bruge elektriske varmepumper i stedet for gasfyr) og spiser (skære lam og oksekød ud) er de vigtigste ændringer, vi vil bemærke. Samtidig kan små ændringer i designet af bygninger og køretøjer gøre dem mere effektive. Den største udfordring, der afsløres i dette afsnit, er dog brugen af skibsfart til fragt: i øjeblikket har vi ingen alternativer.

2.2 Materialer og ressourcer

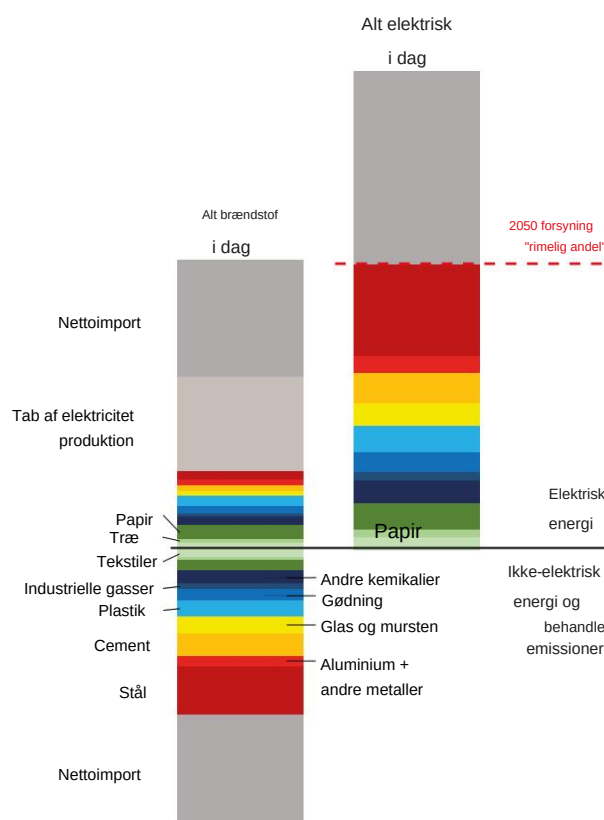
Implikationerne af analysen i kapitel 1 for materialeproduktion er opsummeret i figur 2.11. Storbritannien importerer en stor del af vores materialebehov - enten som materialer, komponenter eller færdigvarer - så omkring halvdelen af påvirkningen af vores forbrug i dag fører til udledning af drivhusgasser i andre lande. Af de bulkmaterialer, der driver de fleste industrielle emissioner, er papir- og aluminiumsproduktion de eneste to, hvor elektricitet er den dominerende energikilde. De processer, der fremstiller materialer, kan næsten alle elektrificeres, men udfordringen med det absolutte nulpunkt er at håndtere de produktionsprocesser, der uundgåeligt fører til emissioner. Højvovnsstål kan erstattes af stål, der genbruges i elektriske ovne, og dette fører til udvidelsen af elektricitet til stålproduktion vist i figuren. Vi har dog i øjeblikket ingen midler til at undgå emissionerne fra cementproduktion - selvom processen blev elektrificeret - fordi den kemiske reaktion, der omdanner kalksten til cement, uundgåeligt frigiver kuldioxid. Uden innovation vil vi ikke være i stand til

at bruge beton eller mørtel - de to former, vi bruger

bruger generelt cement - men fordi dette er så vanskeligt at forestille sig, har vi tilladt en vis elforsyning til produktion af cementalternativer.

Med udgangspunkt i cement undersøger dette afsnit muligheden for innovation til at udvide den tilgængelige forsyning af materialer. inden for absolut nul emissioner.

Figur 2.11: Energiforbrug i produktionen af materialer



Cement

Cement hælder, når det blandes med vand, fordi

Faste reaktionsprodukter (kaldet hydrater) har et højere volumen end cementpulveret og danner således et fast skelet. Kun få grundstoffer i det periodiske system har denne egenskab og findes også bredt i jordskorpen. Grundstofferne, der er tilgængelige i jordens kontinentale system,

Skorpe med en forekomst på over 1% er silica (60,6%), aluminiumoxid (16,9%), jernoxid (6,7%), kalk (6,4%), magnesiumoxid (4,7%), natriumoxid (3,1%) og kaliumoxid (1,10%).

Af disse bruger Portlandcement primært calcium og silica, hvor aluminium, jern, calcium og svovl også spiller en mindre rolle. Calcium og aluminium kan sammen danne en varmebestandig cement, der anvendes i ildfaste anvendelser.

Magnesium, svovl og aluminat kan også fungere sammen som cement, men forsøg på at fremstille et pålideligt produkt ud fra dem har vist sig utilfredsstillende. Jern danner ikke hydrater med et stort volumen. Derfor er den vigtigste ingrediens i Portlandcement calcium, som hovedsageligt findes i form af kalksten (eller calciumcarbonat), som er fossile rester af mikroorganismer, der har kombineret CO₂.

og calcium til at danne skaller i milliarder af år.

60 % af emissionerne fra cementproduktion stammer fra den kemiske reaktion ved kalcinering, hvor kalksten

omdannes til klinker - forløberen for cement. De resterende emissioner skyldes forbrænding af fossile brændstoffer (og affaldsmaterialer) i ovne. Selvom opvarmningsprocesser kan blive elektrificeret i fremtiden, vil procesemissioner fra kalcinering være uundgåelige,

medmindre der findes alternative kilder til calciumoxid

at erstatte kalksten i cementproduktion. I øjeblikket synes det umuligt at producere cement med absolut nul emissioner. Teknologisk innovation inden for alternativer til kalcinering og omkonfigurering af cementindustrien kan muliggøre nul emissioner i cementproduktionen. Enhver innovation i disse processer vil dog sandsynligvis kræve en betydelig reduktion i cementefterspørgslen fra det nuværende niveau.

I øjeblikket bruger byggebranchen mange erstatningsmaterialer for at reducere den samlede efterspørgsel efter cement: Der anvendes både flyveaske, et biprodukt fra afbrænding af kul, og granuleret højvovnslagge, et biprodukt fra stålindustrien. Sammen reducerer de behovet for ren portlandcement med omkring 20 %. I en verden uden kulstof ville ingen af disse produkter dog være

tilgængelig - som kulforbrænding og højvovne ville ikke være muligt - hvilket fører til et øget behov til ny cement.

Det er muligt at producere præfabrikerede produkter (mursten, blokke eller plader) med nul eller endda negative emissioner, uanset om

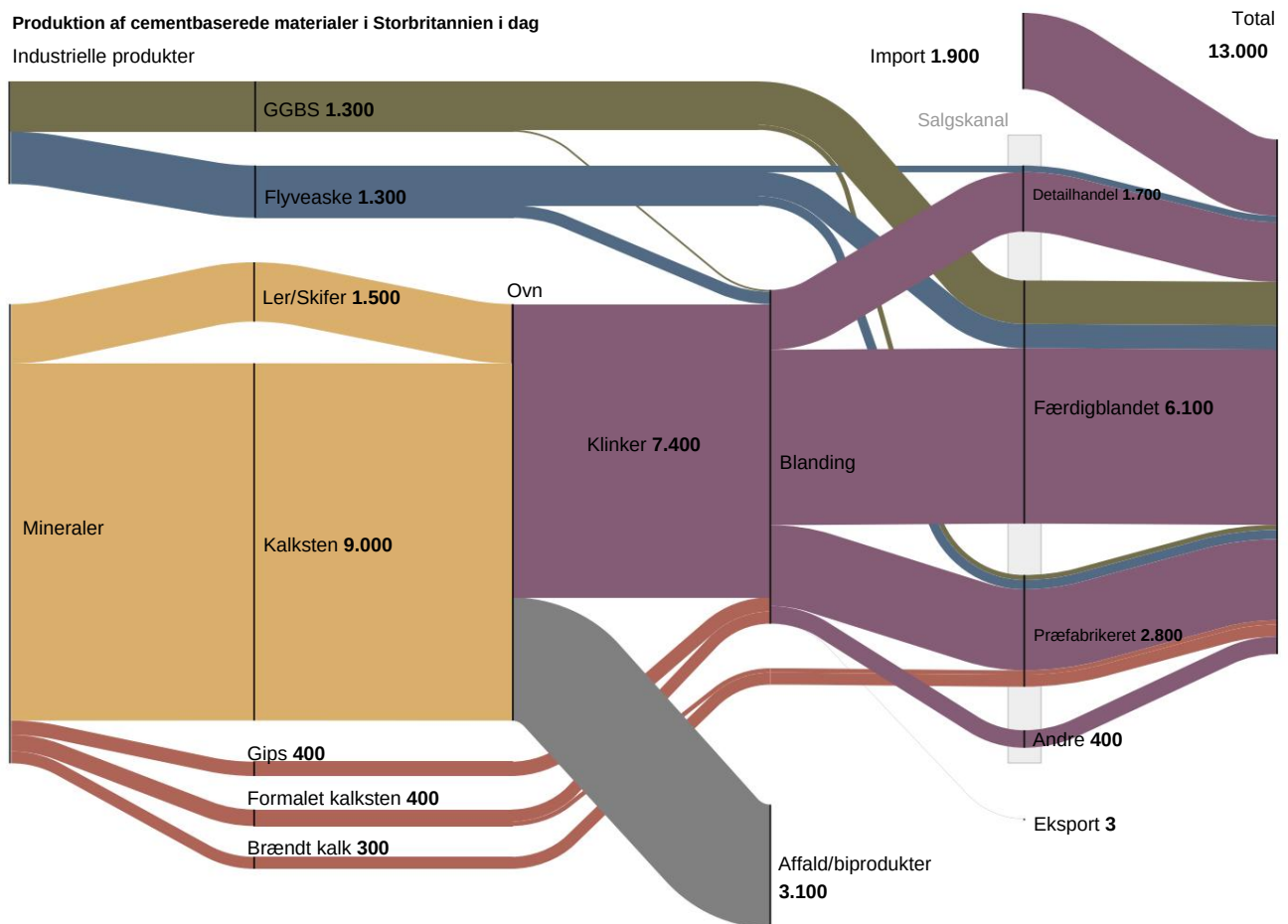
ved hjælp af mikroorganismer, der omdanner CO₂ til calcit, eller ved at boble CO₂ gennem magnesiumsulfo-aluminatcementbaserede blandinger. Disse kunne opfylde nogle af byggebranchens behov, men vi har ingen alternative bindemidler til at erstatte Portlandcement på byggepladser. Det hævdes ofte, at geopolymere (flyveaske eller slagge, der reagerer og danner hydrater i nærvær af alkalier) kunne erstatte Portlandcement. Dette er dog ikke en mulighed i en verden uden kulstof, fordi basismaterialerne til geopolymere kommer fra stærkt udledende industrielle processer (afbrænding af kul og koksstål), som ikke vil fortsætte.

Præfabrikerede produkter kan højst erstatte 14 % af den nuværende anvendelse af cement, men uden bindemidler kan de ikke bruges til fundamenter eller reparationer, selv ikke af kritisk infrastruktur.

Et af de mest almindelige strukturelle elementer i nutidens erhvervsbygninger, den flade plade, der støbes på stedet af flydende beton, der bringes til byggepladsen i blandede biler og bruges til at bygge gulve, ville forsvinde: den eneste tilgængelige mulighed ville være præfabrikerede elementer, men disse kunne ikke, som de er nu, færdiggøres med et tyndt lag beton (kaldet en afretningslag). En i øjeblikket populær byggemetode, kompositkonstruktion med tynde betonplader hældt over bølgepapplader og bjælker, ville også være ...

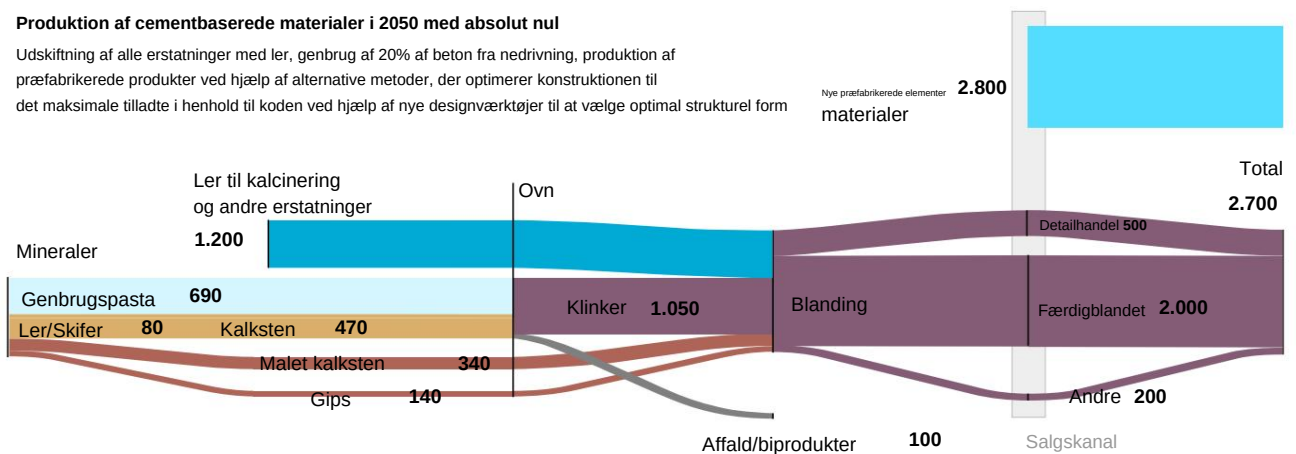
Figur 2.12: Produktion af cementbaserede materialer i Storbritannien og med innovation for nul emissioner i 2050 (kT/år)

Produktion af cementbaserede materialer i Storbritannien i dag
Industrielle produkter



Produktion af cementbaserede materialer i 2050 med absolut nul

Udskiftning af alle erstatninger med ler, genbrug af 20% af beton fra nedrivning, produktion af præfabrikerede produkter ved hjælp af alternative metoder, der optimerer konstruktionen til det maksimale tilladte i henhold til koden ved hjælp af nye designværktøjer til at vælge optimal strukturel form



umulig, på trods af at den er mere materialeeffektiv end den flade armerede betonplade.

Der er to komplementære veje, der kan føre til at reducere emissionerne fra cementproduktion.

For det første kan der være nye kilder til cementerstatning og nye kulstoffattige råmaterialer til produktionen. En lovende kilde til cementerstatning er kaolinitrig ler.

Kaolinit er et oxid af aluminium og silicium, som

Når det kalcineres ved 850°C, omdannes det til metakaolin, som

er et amorf, reaktivt produkt. På grund af den lavere kalcineringsstemperatur er dette materiale omkring halvt så energikrævende som Portlandcement.

Det har den interessante egenskab, at det kan reagere med rå kalksten for at danne hydrater, såvel som at erstatte cement. Således kan substitutionsniveauer på op til 65% opnås uden at sænke styrken. I

Storbritannien kan affald fra kaolinitminedrift i Wales være en god kilde til ler til kalcinering. London-ler er af dårligere kvalitet, men kunne stadig bruges, hvis styrkekravene til nybyggeri blev sænket.

Den anden vej til at producere cement med nul kulstof er at fjerne kalksten fra cementtilførslen.

Kilden til calcium, som ikke er kulsyreholdigt, er beton

nedrivningsaffald. Nuværende bedste praksis tyder på, at cirka 30 % af kalkstenen i en cementovn kan erstattes af betonnenedrivningsaffald. Denne grænse skyldes tilstedeværelsen af betontilslag, men hvis der etableres en separationsproces, og kun cementpastaen fra betonnenedrivningsaffaldet anvendes, kan det være muligt at producere cement uden kemiske procesemissioner.

Mængden af nedrivningsaffald, der er tilgængeligt årligt i Storbritannien, kunne dække en betydelig del af vores årlige behov, forudsat at der blev gjort en heroisk indsats for at udnytte denne tilgængelige materialekilde godt. 30 Mt nedrivning

Der produceres årligt affald (2007-værdi fra National Federation of Demolition Contractors), hvoraf 59% er beton, hvoraf 20% er cementpasta. Et udbytte på 80% ved adskillelse af tilslag fra pasta ville derefter give 3 Mt lavkulstofindhold til ovennævnte til produktion af ny cement.

Figur 2.12 illustrerer et resumé af denne fortælling, der sammenligner Storbritanniens nuværende behov for cement (eller mere generelt "cementbaseret materiale") i det øverste billede og den maksimalt mulige forsyning, vi kan forestille os inden for rammerne af det absolutte nulpunkt i det nederste billede.

Afsnit 2.3 vil se på mulighederne for at levere byggeri med den 75% reduktion i cementproduktionen, som dette tal medfører.

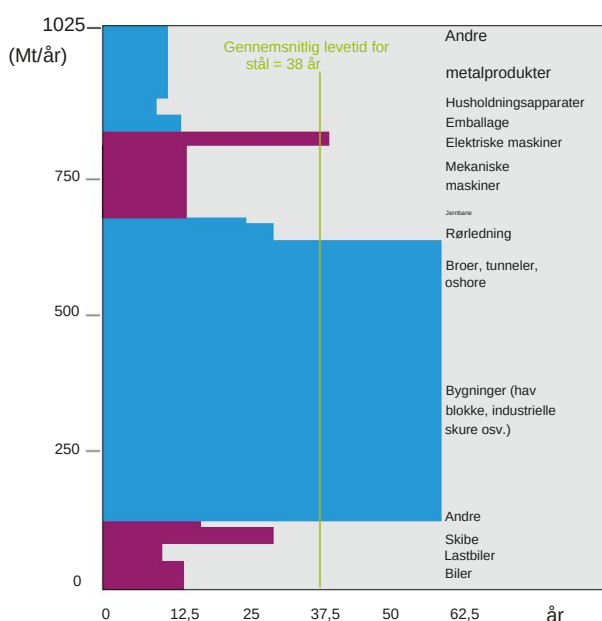
Endelig er der mange mulige muligheder for strukturelle elementer, der ikke bruger beton og stål, herunder stampe

jord, halmballer (ModCell), hamp-kalk, konstrueret bambus og træ (naturligt eller konstrueret). Disse materialer hævder ofte at have overlegne kulstofegenskaber, hvilket kan være overdrevet, men de har også forbedrede bygningsfysiske egenskaber, herunder isolering, hygrotekniske fordele og fordele ved indeklimaet. Disse kunne bruges til at erstatte beton i nogle anvendelser, men ville kræve andre designprocesser og valg af arkitektoniske former.

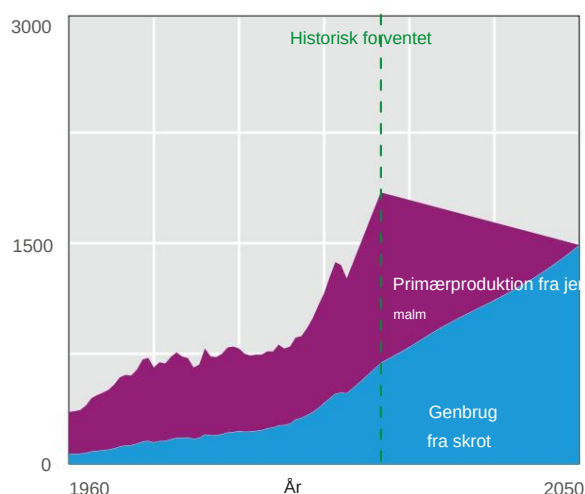
Stål

Genbrug af stål i elektriske lysbueovne drevet af vedvarende elektricitet kan dække størstedelen af vores behov for stål, ligesom det allerede gør i USA. Næsten alt stål genbruges allerede (undtagelsen er, hvor stål bruges under jorden, i fundamenter eller rør), og som figur 2.13 viser, er den gennemsnitlige levetid for stålintensive varer omkring 35-40 år. Mængden af skrotstål, der er tilgængeligt globalt til genbrug i 2050, vil derfor være omtrent lig med, hvad der blev produceret i 2010. Figur 2.14 viser, hvordan balancen i den globale stålproduktion kan udvikle sig i de næste 30 år for at være kompatibel med det absolutte nulpunkt: fremstilling af højvækststål, som uundgåeligt fører til udledning af drivhusgasser på grund af den kemiske reaktion, der er involveret i udvinding af rent jern fra jernmalm ved hjælp af kulstof i kul, skal reduceres til nul. I mellemtiden kan genbrug, der finder sted i elektriske lysbueovne, drives af vedvarende elektricitet for at være (praktisk talt) emissionsfri og kan udvides med den stigende tilgængelighed af stål til genbrug. Selv uden handling mod klimaforandringer vil mængden af stålskrud, der er tilgængeligt globalt til genbrug, tredobles inden 2050. For at opfylde kravene om det absolutte nulpunkt kan denne værdifulde ressource være det eneste råmateriale, da der i øjeblikket ikke findes nogen alternativ teknologi til at producere stål fra jernmalm uden emissioner.

Figur 2.13: Forventet levetid for stål fordelt på anvendelse



Figur 2.14: Global stålproduktion i absolut nul (Mt/år)

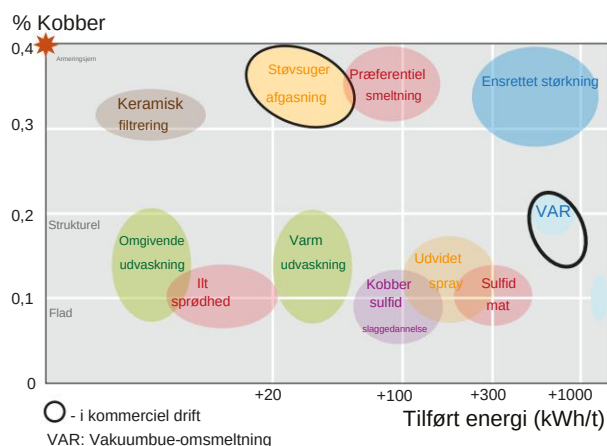


Genbrugsstål kan have samme kvalitet som højvoldsstål. Faktisk fremstilles nogle af de højeste kvaliteter af stål til luftfart, der anvendes i Storbritannien, i Rotherham ved genbrug. Kvaliteten afhænger dog af blandingen af metaller, der leveres til lysbueovnen, og nedbrydes i nærvær af en betydelig mængde tin eller kobber.

Tin indgår i stålgenbrugsstrømmen på grund af brugen af blikplade til fremstilling af dåser, men dette er relativt let at håndtere: disse dåser kan adskilles fra andet udtjent stål, og en moden proces er allerede i drift i stor skala for at adskille tinnet fra stålet.

Kobber er et større problem i forbindelse med stålgenbrug, fordi den nuværende affaldshåndtering involverer makulering af brugte biler og husholdningsapparater for at adskille metal fra andre materialer, og disse produkter indeholder mange elektriske motorer og tilhørende ledninger lavet af kobber. Der er et stort felt af muligheder for at imødegå dette problem, hvilket kunne omfatte: fjernelse af motorer og ledninger før makulering; forbedret separation af metaller efter makulering; metallurgiske processer til at fjerne kobber fra det flydende metal, der skabes af den elektriske lysbueovn; udvikling af nye downstream-processer til at håndtere

Figur 2.15: Muligheder for at reducere kobberkoncentrationen



kobberforurening i stålet; eliminering af kobber for eksempel ved at erstatte det med aluminium. Figur 2.15 viser en oversigt over metallurgiske processer til reduktion af kobberkoncentrationer i flydende stål, fra 0,4% (en typisk værdi i dag for gennemsnitlig britisk stålskrotgenbrug) til omkring 0,1% (tærsklen for applikationer af højere kvalitet såsom bilkarosserier) som en funktion af energitilførsel. De høj kvalitetsstål, der fremstilles i Rotherham, renses med vakuumbueomsmeltning, med høje energiomkostninger (og dermed økonomiske omkostninger), men figuren viser, hvor mange andre muligheder der kunne udvikles givet den motivation, som Absolute Zero giver.

Stålproduktion er ekstraordinært energieffektiv, og derfor er stål bemærkelsesværdigt billigt. Som følge heraf bruges det spildt, og i de fleste anvendelser kunne vi levere den samme slutbrugerservice fra halvdelen af stål mængden brugt i dobbelt så lang tid – dvs. kræver kun 25% af den årlige stålproduktion. Denne strategi for materialeeffektivitet afhænger af praksis inden for byggeri og fremstilling hvilket diskuteres yderligere i afsnit 2.3 og 2.4.

Ikke-jernholdige metaller

Produktionen af ikke-jernholdige metaller er allerede næsten fuldstændig elektrificeret. Det mest bemærkelsesværdige eksempel er aluminiumproduktion, som alene bruger 3,5 % af den globale elektricitet, og efterspørgslen efter dette metal vokser i øjeblikket hurtigt. I teorien kræver aluminiumgenbrug kun 5 % af den energi, der bruges til at producere primæraluminium, selvom et mere præcist tal i virkeligheden er omkring 30 % med yderligere forarbejdning til rensning af skrotaluminium før smeltning, fortynding med primærmetal for at kontrollere kvaliteten og med uundgåelig efterfølgende forarbejdning. Men da efterspørgslen efter aluminium vokser hurtigt, er der i øjeblikket ikke nok skrot til rådighed til at dække den nuværende efterspørgsel, så inden for den absolutte nul-fremtid skal primærproduktionen fortsætte - med en produktion reduceret i forhold til udbuddet af ikke-udledende elektricitet.

Problemer med forurening, der underminerer kvaliteten af genbrugsaluminium, kan danne grundlag for innovation inden for forbedrede processer til at adskille aluminium i udtjente affaldsstrømme eller ændre sammensætningen i dets flydende tilstand.

Kritiske metaller

Kritiske metaller kaldes så på grund af deres voksende efterspørgsel og risici forbundet med deres forsyning. Der er ingen problemer med knaphed på disse metaller, men deres globale tilgængelighed er meget ulige - de fleste reserver er koncentreret på meget få steder, ofte i lande med ustabile politiske forhold, og adskillige kritiske metaller produceres som biprodukter af andre metaller i større mængder. De fleste produktionsprocesser for kritiske metaller er allerede elektrificerede, men disse er meget energiintensive.

på grund af behovet for at koncentrere disse metaller fra malme

hvor de naturligt har meget lave koncentrationer.

Desværre kan genbrug af kritiske metaller kræve endnu mere energi end primærproduktion, fordi de typisk anvendes som legeringer, og det er vanskeligere at adskille dem fra den komplekse blanding af metaller i genbrug end fra de mere kontrollerede sammensætninger, de findes i naturen. Absolut nul, som kræver en betydelig udvidelse af elektrificeringen, vil sandsynligvis øge efterspørgslen efter kritiske metaller, der forbedrer motorers ydeevne.

men denne efterspørgsel vil komme på bekostning af en uundgåelig vækst i efterspørgslen efter elektricitet.

Keramik

Keramik og mursten fremstilles hovedsageligt af ler. Disse skal forglasses ved høje temperaturer i en ovn. I øjeblikket udvindes varme fra fossilt brændstof eller affaldsforbrænding,

men der findes elektriske alternativer til alle ovntemperaturer.

Nogle farver i keramik kræver reduktionsbrænding, hvilket kræver et trin i ovnen med en reducerende atmosfære.

Dette opnås i øjeblikket ved forbrænding af brændstof, og derfor vil alternativer til denne praksis være nødvendige. Begrænsningen på 60% af tilgængelig elektricitet indebærer en begrænsning på 60% af keramikproduktionen i 2050.

Minedrift

Minedrift bruger energi til to hovedformål: at flytte sten og mineprodukter i tunge "gule" køretøjer og knuse dem for at muliggøre de kemiske udvindingsprocesser. Begge anvendelser kan elektrificeres, men i øjeblikket kører gule køretøjer i vid udstrækning på diesel, mens kraften til knusning og formaling afhænger af lokale forhold. Potentielt kan der være mere energieffektive teknologier til knusning og formaling, men der er allerede et konkurrencepræget marked, der leder efter disse, så gennembrud er usandsynlige. Inden for rammerne af det absolutte nulpunkt vil elimineringen af

Kul- og jernmalminedrift vil reducere sektorens samlede energibehov betydeligt og give "plads" i det ikke-emitterende elenergibudget til udvidelse af minedrift i forbindelse med storstilet elektrificering.



Glas

Størstedelen af den nuværende glasproduktion bruger naturgasfyrede ovne. Disse kunne elektrificeres, men en reduktion i produktionen ville være nødvendig i forhold til den tilgængelige forsyning af emissionsfri elektricitet.

Gødning

CO₂ fra ammoniakproduktion opsamles i øjeblikket og bruges til urinstofproduktion. Urea bruges derefter som gødning, der leverer kvælstof til planter og afgrøders rødder, men når urinstof nedbrydes i jorden, frigiver det den indlejrede CO₂.

til atmosfæren. Samlet set produceres der 2 tons CO₂ pr. ton anvendt urinstof. Ammoniumnitrat er et alternativt gødningsmiddel til urinstof, men det produceres af ammoniak, hvilket fører til de samme emissioner, selvom alle forekommer i den kemiske fabrik.

Kulstofopsamlingssteknologier kunne med tiden blive implementeret, men dette ville kun være foreneligt med en betydelig reduktion fra den nuværende produktion. Der er dog betydelige muligheder for at reducere energiforbruget ved at reducere efterspørgslen efter gødning. Eksisterende beviser tyder på, at der bruges mere gødning end det kvælstof, der kræves til at dyrke afgrøder. For eksempel viser en undersøgelse for Holland, at brugen af gødning kunne

halveres uden tab af produktivitet, hvis det bruges mere effektivt.

Plastik

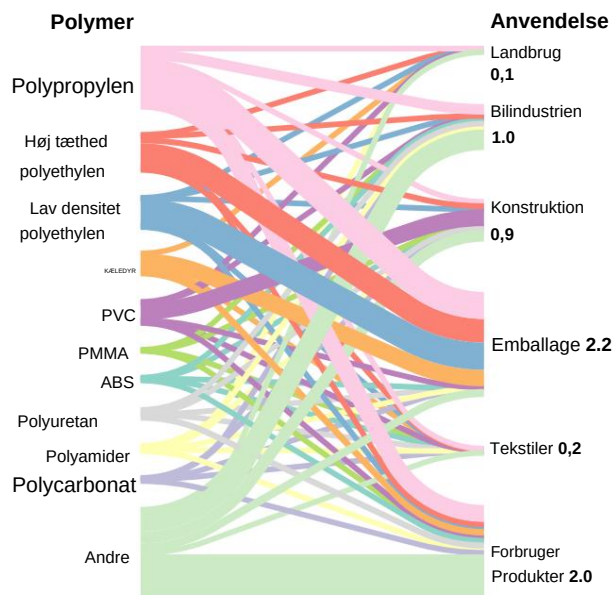
Der udledes cirka 1 ton CO₂ pr. ton produceret plastik, men mere end dobbelt så meget CO₂ produceres, når plastaffald forbrændes. Plast er fremstillet af olie - og det er derfor den mest værdifulde komponent i eksisterende affaldsstrømme, hvis affaldet forbrændes til energi.

Men hvis plastik forbrændes, er det i realiteten et fossilt brændstof. Som følge heraf er plastforbrænding ikke forenelig med målet om det absolutte nulpunkt.

Plast kan genbruges i stedet for at forbrændes, enten ved mekaniske eller kemiske processer. Mekanisk genbrug bevarer polymerernes kemiske struktur og sammensætning og er normal praksis i eksisterende fremstillingsprocesser: Skrot ved udgangen af en plastekstruderingsmaskine kan for eksempel føres direkte tilbage i maskinen til genekstrudering. Dette er dog kun muligt, når sammensætningen er kendt og under kontrol.

Den store tiltrækningskraft ved plast er, at de kan skræddersys til enhver anvendelse - med forskellige farver, densiteter, teksturer, styrker og andre egenskaber i henhold til hver designspecifikation. Denne enorme variation er dog en forbandelse for genbrug: i den nuværende mekaniske genbrug af udtjent plast er sammensætningen af det resulterende produkt ukontrolleret og derfor af ringe betydning.

Figur 2.16: Polymeranvendelser i Storbritannien (Mt/år)



værdi. Derudover blandes plastaffald ofte med andre materialer, og derfor kan renhedsniveauet for ny plast ikke opnås ved genbrug, hvilket uundgåeligt fører til downcycling. Et hyppigt eksempel er PET-emballage, som ikke kan genbruges tilbage til fødevarer og godkendte standarder og derfor anvendes i applikationer med lavere værdi.

I modsætning hertil nedbrydes polymerer ved kemisk genbrug til deres monomerer, som derefter

genvindes til at syntetisere ny plast. I øjeblikket er det kun økonomisk attraktivt at genbruge plast mekanisk, da det kræver mindre end halvdelen af energien til ny produktion. Kemisk genbrug ved pyrolyse og forgasning kan dog i fremtiden muliggøre genvinding af plastaffald til anvendelser med høj værdi. Det har indtil videre vist sig vanskeligt at drive pyrolyseprocesser i stor skala, de kræver høje temperaturer og har udbyttetab på op til 40 %, delvist på grund af brugen af en del af råmaterialet til at generere varme.

Genanvendeligheden afhænger også af den type polymerer, der er tilgængelige i affaldsstrømmene. Figur 2.16 viser de årlige strømme af plast i slutprodukter, der købes i Storbritannien, fordelt på polymertype og anvendelse. Selvom cirka 40 % af den årlige efterspørgsel efter plast anvendes i emballage, har disse korte levetider og returneres hurtigt til affaldsstrømmene. Der anvendes en stor variation af polymerer til hver anvendelse, hvilket hindrer identifikation og separation af polymerer i affaldsstrømme og dermed begrænser genanvendeligheden af plast. I øjeblikket fører deponering af plast næsten ingen emissioner. Plast er stabilt

Når deponeret, genererer de ikke metan. Deponering sparer dog hverken produktionen af ny primærplast eller bidrager til den fremtidige tilgængelighed af materiale til genbrug, medmindre det rengøres og sorteres inden deponering til opbevaring.

Andre kemikalier

Den kemiske industri producerer en bred vifte af produkter. Methanol, olefiner og aromater produceres i meget mindre mængder end de fleste plasttyper og gødningsstoffer, men er vigtige forløbere for en række kemiske produkter. Emissioner stammer fra energiforbrug og kemiske processer. Selvom de fleste energiforbrug kan elektrificeres, kan det være meget vanskeligt at fortsætte med at producere mange af nutidens kemikalier uden at frigive procesemissioner.

Papir

Papirindustrien bruger globalt en tredjedel af sin energi fra sit eget biomasseråmateriale. Alligevel tegner biomasse sig i Europa for halvdelen af det samlede energibehov, hvilket tyder på et globalt potentiale for forbedring. Absolut nul emissioner ville kræve en omstilling af eksisterende fossilbrændselsbaserede kraftvarmesystemer til elektriske kraftprocesser. I betragtning af den begrænsning på ikke-emissionsfri elektricitet, der kræves i kapitel 1, vil papirproduktionen efter fuldstændig elektrificering blive reduceret med ca. 80 % af de nuværende mængder for at være i overensstemmelse med de britiske mål.

Tekstiler

Det meste energiforbrug i tekstilindustrien er allerede blevet elektrificeret. Læderproduktion (som er afhængig af køer) ville dog ikke være forenelig med det absolutte nulpunkt af de samme grunde, som tidligere er anført for oksekød. Da vask, tørring og strygning tegner sig for mere end halvdelen af energiforbruget for de fleste beklædningsstekstiler, kunne industrien fremme stoffer, der ikke kræver strygning, og støtte en reduktion i hyppigheden af vask og tørring.

Tekniske kompositter

Nye nanomaterialer tilbyder lovende egenskaber, som kan muliggøre substitution af visse metaller på tværs af

forskellige anvendelser. Den nuværende samlede mængde af disse materialer kunne dog sandsynligvis passe i en vandflaske. Af denne grund synes det usandsynligt, at disse materialer vil have nogen værdi i at reducere efterspørgslen efter bulkmaterialer.

inden 2050.

Hovedbudskab: På grund af de emissioner, der er forbundet med deres produktion, kan cement og nyt stål ikke produceres med nul emissioner. Stål kan genbruges effektivt, men vi har brug for hurtig innovation for at finde en cementforsyning. Under absolut nulpunktsbetingelser vil tilgængeligheden af de fleste andre materialer være proportional med mængden af ikke-emitterende elektricitet, der er tilgængelig for sektoren.

2.3 Ressourceeffektivitet i byggeriet

De fleste emissioner i forbindelse med byggeriet stammer fra til brugen af materialer: processen med at opføre bygninger og infrastruktur kræver lidt energi sammenlignet med fremstilling af de nødvendige materialer, som overvejende er stål og cement. Under betingelserne for absolut

Nul, alt stål, der bruges i byggeriet, vil komme fra genbrug - hvilket i vid udstrækning allerede er tilfældet i USA, og det udgør ingen væsentlig udfordring. Men som diskuteret i det foregående afsnit skal industrien lære at bruge betydeligt mindre cement. En sparsom udnyttelse vil gøre overgangen til det absolutte nulpunkt mulig uden at sætte materialeindustrien under et umuligt pres.

Desuden medfører alle effektivitetsgevinster i ét materiale normalt en reduktion i brugen af det andet, fordi lavere belastninger altid fører til lavere strukturelle behov. Figur 2.17 viser den nuværende anvendelse af cement i Storbritannien som en vejledning i jagten på materialeeffektivitet.

Årsagerne til materialeineffektivitet i byggeri er relativt velforståede. Den mest almindelige er overspecificering. Mængden af stål i en typisk etage i en stålbygning er cirka dobbelt så stor som de strukturelle krav ville diktere. Dette skyldes, at valget af stålbjælker eller stålarmering i betonplader ikke er

fuldt optimeret, og fordi terrassen (tykkelsen og typen af gulvplade) typisk er overdimensioneret.

I den nuværende britiske konstruktion af stålbygninger er stålet i gennemsnit overspecificeret med en faktor på to, selv efter at der er taget højde for vores konservative sikkerhedsfaktorer.

Det betyder ikke, at det ville være muligt at halvere

mængden af stål, idet vi anslog, at det var muligt at spare mindst 15% af stålets masse uden tab af brugsværdi

eller sikkerhed. Dækbælningerne er også overdimensionerede: betonlagets tykkelse er større end nødvendigt, og stålpladen, der understøtter betonen i kompositkonstruktioner, er ofte dobbelt så tyk som den nødvendige.

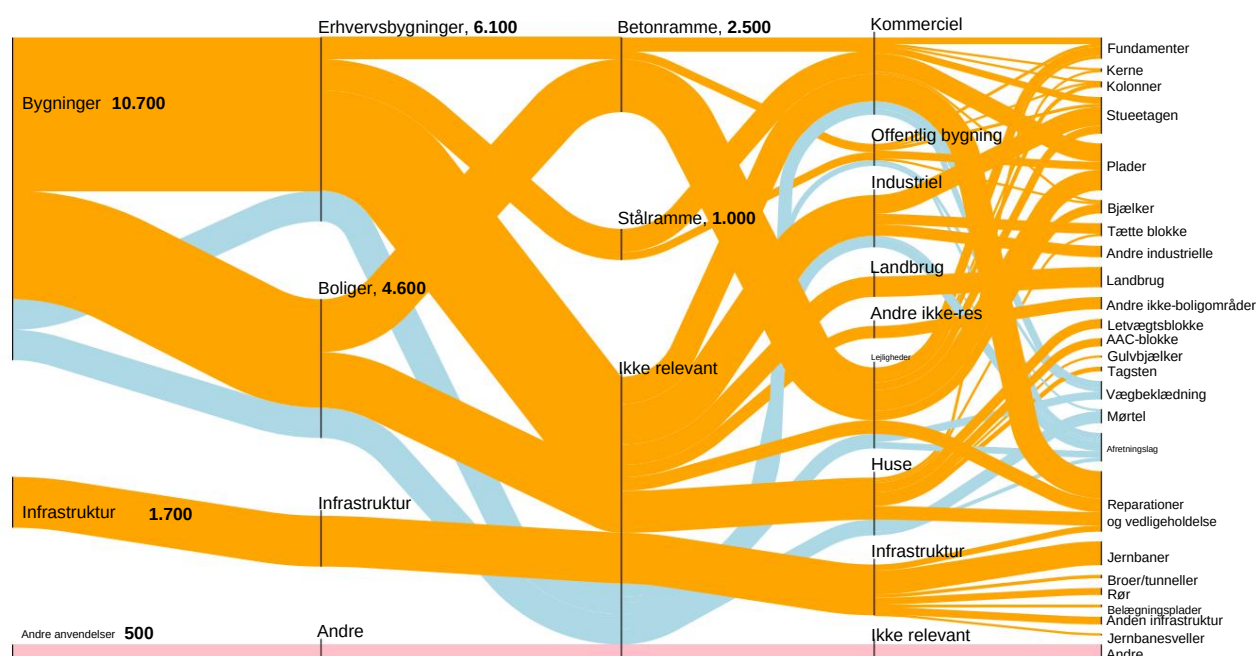
Bygningsreglementerne specificerer i øjeblikket kun den minimale mængde materiale, der skal anvendes (inklusive sikkerhedsmarginen). Men de kunne også håndhæve en øvre grænse ved at tilføje en "og ikke mere"-klausul.

Der er heller ingen eksisterende benchmark til at sammenligne den indlejrede energi af materialerne i en bygning pr. kvadratmeter, men dette ville bidrage til at øge effektiviteten af strukturdsgn.

Ud over disse kilder til overspecificering er bygninger ofte designet til langt højere belastninger, end de nogensinde vil kunne tåle: tyngdekraftsbelastninger i bygninger, primært fra mennesker, er specificeret til et langt højere niveau, end den fysiske nærhed af grupper af mennesker ville tillade, eller end ventilationssystemer ville kunne klare i hele bygningens levetid. En overvurdering af den designmæssige belastning fører direkte til materialespild i bygninger. Vi måler ikke rutinemæssigt belastninger i bygninger, og derfor er der behov for en forskningsindsats. Måling af belastninger i vores bygninger ville give erfaringer fra vores eksisterende bygninger for at transformere den strukturelle designeffektivitet.

Når ingeniører specificerer bygningers vibrationsadfærd, som styrer deres "følelse", overskrider de normalt kravene i vores bygningsreglementer. I brug styres denne følelse dog normalt af valget af gulvbælning og placeringen af skillevægge, men designere ignorerer normalt disse faktorer, som ikke er fastsat, når den bærende ramme bygges.

Figur 2.17: Nuværende mønstre for cementforbrug i Storbritannien (kT/år)



valgt. Derfor lægges der en stor indsats i at lave stive bygninger, som kræver mere materiale og som kan være helt spildt. Bedre metoder til at forudsige bygningers fornemmelse ville hjælpe med at styre designet mod mere effektive resultater.

En yderligere drivkraft for ineffektivitet i vores brug af materialer i byggeri, uafhængigt af overspecificering, er valget af strukturel form. Valget af gitter (afstanden mellem søjler) er den vigtigste faktor for CO₂-intensiteten i byggeri, men der er ringe bevidsthed om dens betydning. Kulstofintensiteten i en bygning kan fordobles, hvis meget lange spænd specificeres frem for kortere, selv når brugerne af sådanne bygninger ofte installerer skillevægge for at opdele for store rum.

Der udvikles værktøjer til planlægning, som hjælper med at guide tidligt design mod en passende arkitektonisk form. I øjeblikket står en designer over for et svimlende udvalg af muligheder, der ikke er indlysende forskellige fra hinanden, og vil være naturligt tilbøjelig til at vælge en, de har erfaring med.

Dette er sandsynligvis årsagen til overdesignet af terrassebrædder. Efterhånden som antallet af muligheder vokser – for eksempel med voksende entusiasme for træbyggeri – antallet af

Mulighederne inden for design vil fortsætte med at udvide sig, og designere er muligvis ikke i stand til at realisere løftet om nye konstruktionsmetoder. Nye planlægningsværktøjer til at understøtte deres beslutninger kan halvere materialekravene i byggeriet.

Strukturers regelmæssighed er også en i øjeblikket undervurderet kilde til ineffektivitet: regelmæssige gitter kan være op til 20 % mere effektive end mere komplicerede layouts. Nye værktøjer kan hjælpe strukturdesignere med at træffe de rigtige valg tidligt i deres projekter og forbinde valget af arkitektonisk form med den bedste tilgængelige teknologi, samt give en kontekst, der kan støtte arkitekter i at vælge mere effektive former.

Ressourceeffektiviteten kan også forbedres ved at bruge optimerede konstruktionselementer (plader, bjælker, søjler).

Prismatiske konstruktionselementer i enten beton eller stål

er meget spild af energi, fordi maksimal spænding i sådanne elementer kun vil forekomme ét sted langs hele længden. Moderne fremstillingsprocesser kan bruges til at specificere passende strukturelle former (f.eks. fig. 2.18.)

Selv når man designer flade betonplader, optimeres armeringsmønsteret sjældent, delvist fordi et komplekst armeringsmønster ville øge oddsene

Figur 2.18: Betonbjælke lavet med stofforskalling



af fejl på byggepladsen. Nye produkter såsom armeringsmåtter, der er skræddersyet til den specifikke byggeplads og nemt kan rulles ud, er dukket op, men de er endnu ikke fuldt integreret i designprocessen hos de strukturelle designfirmaer.

Endelig vil brugen af alternative byggematerialer i stor skala kræve betydelige ændringer i designvaner. Hvis konstrueret træ lever op til sit løfte, vil det sandsynligvis indtage dets plads ved siden af stål og beton som standarddrammemateriale. Ingeniører bliver dog først nu uddannet til at designe med træ, og det vil tage tid, før det kan anvendes bredt. Afvejningen mellem at bygge højt (sandsynligvis ved hjælp af materialer med højt kulstofindhold) med lave transportkrav og at bygge lavt (ved hjælp af materialer med lavt kulstofindhold), men med højere transportkrav i en mere spredt tilgang, skal undersøges.

Stålproduktion, selv ved at bruge en fuldt genbrugsmetode, er energiintensiv. Det ville kræve mindre energi at genbruge bjælker i stedet for at genbruge dem ved smeltning. I øjeblikket er genbrug af stål kun en marginal praksis, primært fordi stålfremstilling er en effektiv, strømlinet proces, der er afhængig af, at bjælker er standardiserede produkter. Det ville være muligt at øge genbrugsraten, hvis lovgivningen blev tilpasset for at fremme recertificering af stålbjælker, men endnu vigtigere er det, at byggeriets værdikæde skal udvikles for at imødekomme indsamling og renovering af bjælker for at gøre dem klar til genfremstilling.

Tilsammen kan disse materialeeffektivitetsteknikker reducere behovet for materialer i byggeriet betydeligt.

Dette er afgørende for at reducere behovet for cementproduktion til et håndterbart niveau. Ved at implementere alle de her beskrevne materialeeffektivitetsteknikker vil vi kunne fortsætte med at opfylde behovene i figur 2.17 med den cementforsyning, der er implicit i den anden del af figur 2.12a, og dermed imødekomme udfordringen med det absolutte nulpunkt.

Hovedbudskab: Byggeriet bruger halvdelen af alt stål og al cement, men har udviklet sig til at bruge dem ineffektivt. Kravene til materialer i byggeriet kan reduceres for at opnå det absolutte nulpunkt ved at undgå overspecificering og overdesign, ved strukturel optimering og genbrug.

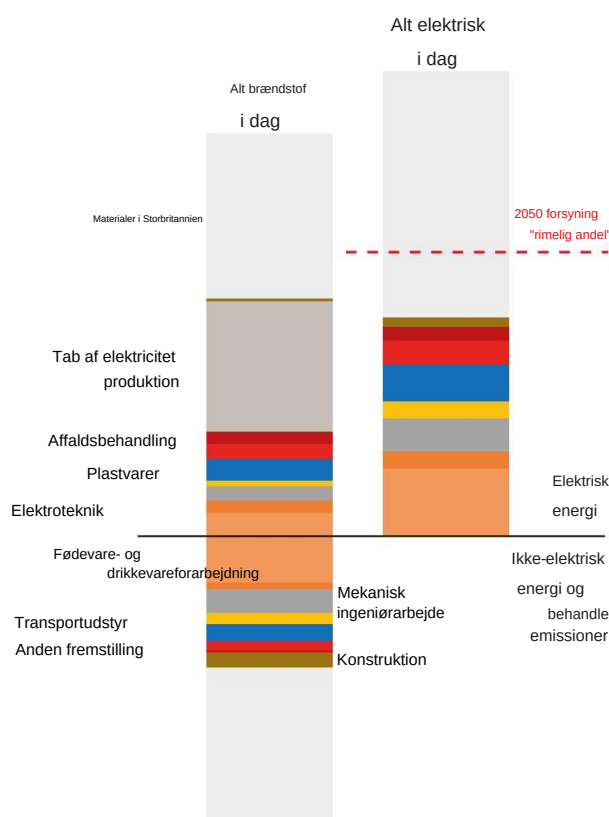
2.4 Ressourceeffektivitet i fremstillingsindustrien

Fremstilling af basismaterialer til produkter og varer er en væsentlig kilde til drivhusgasemissioner.

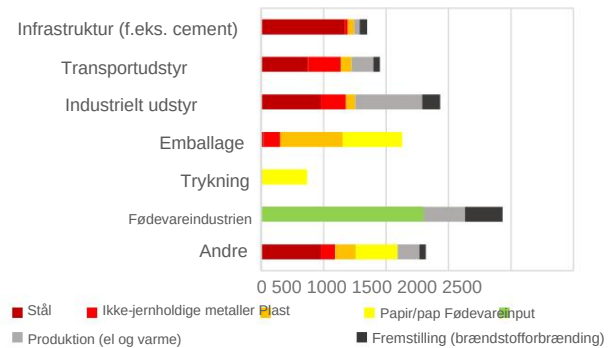
For de fleste produkter forårsager fremstillingsprocesserne i sig selv en relativt lille del af et produkts samlede inkorporerede emissioner sammenlignet med materialetilførslen – se figur 2.19. Begrænsninger forårsaget af fremstillingspraksis påvirker dog i høj grad både materialetilførslen og de emissioner, som produktet forårsager under dets brug. Derfor er der under betingelserne med det absolutte nulpunkt behov for store ændringer i fremstillingen; ikke kun drevet af ændringer op og ned i sektoren, men også af behovet for større ressourceeffektivitet inden for den.

Disse ændringer har en vis indflydelse på alle produkter, men en kritisk prioritet i planlægningen af opfyldelsen af det absolutte nulpunkt er at fokusere indsatsen på de sektorer med størst indflydelse. Idet der er anerkendt, at materialeproduktion driver de fleste nuværende industrielle emissioner, fordeler figur 2.20 energiforbruget i den første kolonne i figur 2.19 til applikationer for at afdække de specifikke målsektorer, hvor reduktion af materialeefterspørgslen er afgørende. Afsnit 2.2 fokuserede på byggeri, den største enkeltstående bruger, og de strategier, der er beskrevet der, er også relevante for ikke-cementkomponenter i infrastrukturen. Men figuren prioriterer tydeligt køretøjer, industrielt udstyr og emballage for mest opmærksomhed.

Figur 2.19: Energiforbrug i produktion og byggeri



Figur 2.20: Udledninger fra nøgleproduktkategorier (MtCO₂e)



Reaktion på ændret materialetilgængelighed

I afsnit 2.2 så vi, at tilgængeligheden af materialer, der i dag direkte udleder drivhusgasser i deres produktion, vil være reduceret inden 2050. Dette omfatter vigtige råmaterialer såsom stål fra jernmalm og cement samt en række produkter fra den kemiske industri, herunder F-gasser, opløsningsmidler, smøremidler og visse typer plast.

Konsekvenserne for produktionen er enorme:

Smøring er afgørende for en stor del af fremstillingen; fra metalformning til motorer, pumper og kompressorer; men næsten alle nuværende kommercielle smøremidler er afledt fra fossile brændstoffer og udleder direkte drivhusgasser ved oxidation enten i produktion eller brug og er derfor – ved en streng definition af det absolutte nulpunkt – udelukket.

Ligeledes kan opløsningsmidler, der udleder flygtige organiske forbindelser, ikke anvendes. Alligevel spiller disse en betydelig rolle i mange industrier, herunder papirbelægning, affedtning, trykning og tekstiler, men også i belægning eller maling af fremstillede varer. Alternativer vil blive værdsat, og deres anvendelse vil blive bredt udvidet inden 2050. I øjeblikket stammer det meste stål, der anvendes i fremstilling, fra jernmalm; genbrugsstål anvendes næsten udelukkende i byggeri. Der vil være behov for nye metoder til at forme, certificere og fremstille stål fra genbrugskilder. Processer vil kræve større tolerance over for variationer i input.

Selvom cement og beton ikke er udbredt i fremstillede varer, er de naturligvis allestedsnærværende i industrigulve, maskinfundamenter og lignende. Det sætter en betydelig begrænsning på fremtidige fabrikker på et tidspunkt, hvor fleksibilitet og tilpasningsevne er afgørende.

Opfyldelse af ændrede produktkrav

I 2050 og fremefter vil produktet og sammensætningen af mange fremstillingsindustrier være markant anderledes. For eksempel forventede kapitel 1 en tredobling af ikke-

udleder elektricitetsproduktion i løbet af de næste 30 år, hvilket betyder, at behovet for energilagring vil stige eksplosivt.

Afsnit 2.1 forudsagde store ændringer i efterspørgslen efter transportudstyr: stor udbredelse af elbiler og en afslutning på fly- og skibsbygning.

Tilsvarende vil udbredt elektrificering af bolig- og industriel opvarmning kræve en massiv stigning i tilhørende udstyr såsom varmepumper. Et skift til vegetariske kostvaner ville ændre fødevarerindustrien betydeligt. Øget forbrug af forarbejdede køderstatninger med lavere emissioner i fødevarerne

input, ville kræve ny behandlingskapacitet og kunne kræve mere energi i forarbejdningen.

Omfanget af materiale- og ressourceinput, der skal til for at muliggøre disse ændringer, er betydeligt; alene set på vindmølleproduktion skaber en øget kapacitet med den forudsagte hastighed mulighed for en betydelig stigning i den britiske industriproduktion. På den anden side forudsiger afsnit 2.1, at forbrugerne i 2050 vil kræve produkter, der holder længere og kan bruges mere intensivt. Dette vil give producenterne udfordringen med at producere produkter af højere kvalitet og højere værdi. Disse kan individuelt være mere materialeintensive, men med en reduktion i det samlede salg vil producenterne opleve en reduktion i deres samlede gennemstrømning.

Forbedring af ressourceeffektiviteten

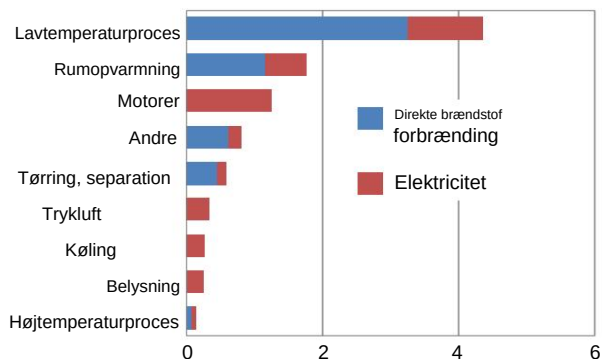
I en verden med stærkt reduceret tilgængelighed af primær energi bliver producenterne nødt til at foretage en markant ændring i ressourceeffektivitet; både i materiale- og energiforbrug.

Materialeeffektivitet

Forskellige materialeeffektivitetsforanstaltninger er teknisk mulige i fremstillingen af varer, komponenter og udstyr, herunder reduktion af procesaffald, optimeret komponentdesign og genbrug eller genformål af komponenter. Store emissionsbesparelser er mulige ved at reducere procesaffald. Ved bearbejdning kan op til 90 % af materialet gå til spilde. For eksempel kan bearbejdning af ventilatorvinger til luftfart fra massivt titanium producere 90 % affald i form af bearbejdningsspåner. Papirindustrien producerer papirmasse.



Figur 2.21: Årligt energiforbrug (MToe) for nøgleprocesser



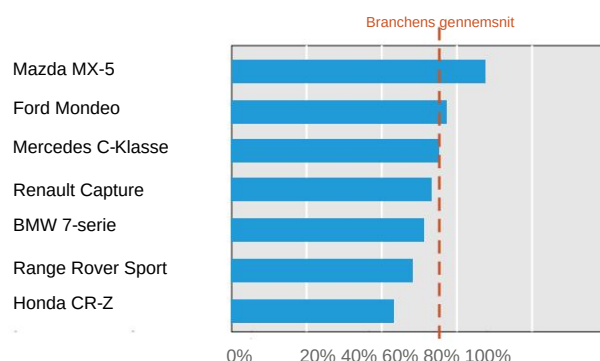
Restprodukter som affald med højt cellulosefiberindhold og højt calciumoxidindhold, som begge kan anvendes i produktionen af brændte lersten. Andre anvendelser er til deponering, forbrænding, brug i cementfabrikker og teglværker, landbrugsmæssig brug og kompost, anaerob behandling og genbrug.

Bilindustrien i Storbritannien genererede 0,5 % af det samlede erhvervs- og industriaffald i Storbritannien, svarende til 1,85 millioner tons, hvoraf 41% er metallisk, 28% er blandet almindeligt affald, 8% kemisk og medicinsk affald, og resten mineral-, papir-, træ- og plastaffald. Mange nye teknologier er blevet foreslået, der kan reducere procesaffald, såsom additiv fremstilling, præcisionsstøbning eller smedning osv. Den betydelige variation i præstation mellem virksomheder, som illustreret i figur 2.22, antyder dog, at problemet lige så meget ligger i styringen af komponent- og produktionsdesign.

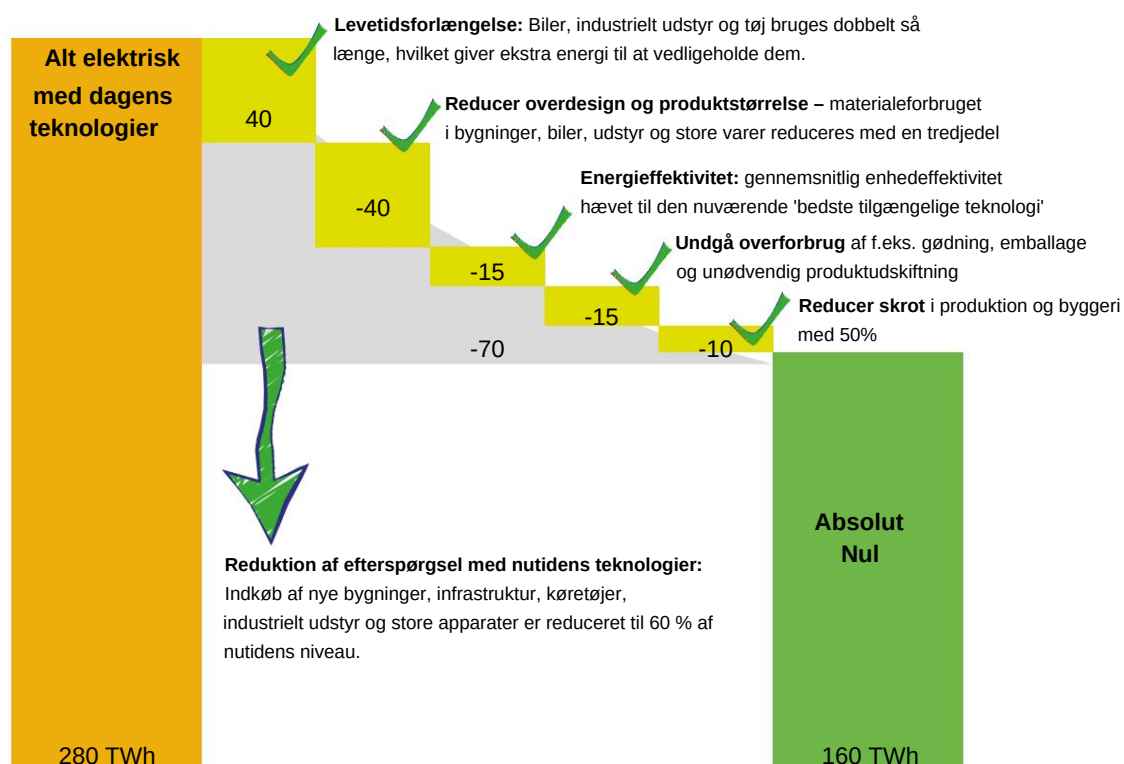
processer.

Formoptimering af komponenter kan yderligere reducere materialekravene til fremstillingen. Hvor en given komponent - hvad enten det er en dåse til mad eller drikke, en drivaksel eller en strukturel bjælke - ofte ideelt set ville have variabel tykkelse langs sin længde eller et hult indre, er de nuværende fremstillingsprocesser ikke indstillet til at producere sådanne funktioner. Materialebesparelser kan opnås ved udvikling af nye fremstillingsprocesser: stordriftsfordele fremmer produktionen af komponenter med ensartede tværsnit, men optimering af materialeforbruget ville kræve en distribution og nye computerstyrede...

Figur 2.22: Materialeudnyttelsesgrader for udvalgte biler



Figur 2.23: Reduktion af energiforbruget i fremstilling og byggeri med inkrementelle teknologier eller reduktion af efterspørgsel.



Udstyr kan fremme denne ændring. Funktionel sortering – generering af forskellige mekaniske egenskaber i forskellige dele af komponenten – eller brug af materialer med højere styrke eller lettere materialer kan også bidrage.

Ændringer af den beskrevne art er alle blevet demonstreret med forskellig teknisk 'beredskab', men deres implementering kræver store, disruptive ændringer i ledelsespraksis, færdigheder og processer.

Energieffektivitet

Det direkte energiforbrug i fremstillingsindustrien skal reduceres, hvis elforsyningen begrænses til nul-kulstofkilder inden 2050. Noget af denne reduktion kan opnås gennem energieffektivitet. I Storbritannien er energiforbruget i downstream-industrier domineret af lavtemperaturprocesopvarmning, rumopvarmning og motorer, med en lang hale af andre anvendelser som vist i figur 2.21. Nylige estimater tyder på, at det kan være muligt at kvartalere elforbruget i løbet af de næste 10-15 år med passende implementering af konventionel teknologi såsom motordrev, pumpe- og tryklufteffektivitetsforanstaltninger samt brugen af varme. pumper.

Produktstandarder

Mange positive ændringer er allerede i gang, og mange andre synes både teknisk gennemførlige og omkostningsbesparende på lang sigt. For at opnå det nødvendige hurtige forbedringstempo foreslår vi, at strækkende og opfindsomme standarder for indlejrede emissioner gradvist indføres for næsten alle fremstillede produkter og pålægges ens for britiske producenter og importerede varer. Sådanne standarder er allerede bredt kendte inden for fremstillingsindustrien, hvad enten det drejer sig om sikkerhed, interoperabilitet eller energieffektivitet i brugsfasen. Disse skal nu udvides til at omfatte indlejrede emissioner og – hurtigst muligt – knyttes til de store programmer for industriel produktudvikling, der fører til de udbredte ændringer inden for energi, transportudstyr og fødevarerinfrastruktur. Hvis disse pålægges retfærdigt for handlede varer, ville det skabe et stort incitament for britiske producenter til at udvikle og drage fordel af de nye produkter og processer, der er kompatible med det absolutte nulpunkt.

Figur 2.23 opsummerer analysen af dette og det foregående afsnit: den energi, der kræves til at drive produktion og byggeri i Storbritannien, når de er elektrificeret, kan reduceres ved en kombination af ændringer i produktspecifikationer og -design, produktets levetid og proceseffektivitet.

Hovedbudskab: Drevet af opfindsomme, nye, indbyggede emissionsstandarder vil fremstillingsindustrien tilpasse sig tre store ændringer: 1) reduceret tilgængelighed af nuværende input, 2) radikalt anderledes produktsammensætning og -krav, og 3) det eksistentielle behov for forbedret ressourceeffektivitet.

2.5 Banebrydende teknologier

Formålet med denne rapport er at sætte fokus på, hvordan vi reelt kan opnå nul emissioner inden 2050 ved hjælp af nutidens teknologier og de gradvise ændringer, der følger af dem. Dette skyldes, at banebrydende teknologier tager lang tid at implementere - som vist i bokshistorien på side 10 - og vi har ikke nok tid tilbage. Men efter 2050 vil der dukke nye teknologier op, der vil transformere energi- og industrilandskabet, og nogle af dem vil være dem, der er under udvikling i dag.

De muligheder, der er beskrevet på denne side, er derfor teknologier efter afbødende foranstaltninger: Når vi har nået det absolutte nulpunkt gennem fuldstændig elektrificering, en 60% reduktion i energiforbruget og eliminering af udledende aktiviteter uden erstatninger, kan disse teknologier senere blive betydelige.

Generation

Af de ikke-udledende teknologier, der er i brug i dag, er vandkraft vanskelig at udbygge på grund af geografi, og som tidligere diskuteret vil brugen af biomasse til fødevarer udelukke dens anvendelse i stor skala til energiproduktion. Atomkraft kan dog blive udvidet. Efter Fukushima-katastrofen i 2011 lukkede Japan sine atomreaktorer, og Tyskland besluttede at flytte permanent væk fra dem. Frankrig fortsætter dog med at generere en stor del af sin strøm fra atomkraft, og i Storbritannien er Hinkley Point C under opførelse, selvom dette er et stort og dyrt projekt med usikker færdiggørelsesdato. Nye "små" modulære reaktorer er også under diskussion. I øjeblikket er ingen i drift på verdensplan, med to under opførelse, men potentielt efter 2050 kan disse udgøre en betydelig tilføjelse til energiproduktionen. Mere fjerntliggende er kernefusion, som har været under udvikling siden 1940'erne, stadig årtier væk fra at generere energi, selv i laboratorieskala, så den kan ikke inkluderes i planlægningen.

Ud over vind- og solenergi er de andre vedvarende energiteknologier, der er under udvikling, geotermisk energi, tidevandsenergi og bølgeenergi. Geotermisk produktion, som opererer i stor skala i Island, New Zealand og Costa Rica, vil sandsynligvis ikke være betydelig i Storbritannien og drives kun i meget lille skala. To store tidevandskraftværker er i drift på verdensplan, i Frankrig og Korea, i en skala på omkring en kvart gigawatt, men selvom Severn-flodmundingen er blevet undersøgt som et attraktivt sted, har Storbritannien ingen aktuelle planer om en første installation. På verdensplan er der ingen betydelig produktion baseret på bølgeenergi. Som følge heraf er det, selvom disse er vigtige udviklingsområder, ikke muligt at forvente nogen betydelig ny produktion fra disse nye vedvarende teknologier.

Energilagring og -overførsel

Vind- og solenergi er intermitterende, så det er en udfordring at matche tilgængeligheden af elforsyning med efterspørgslen efter dens anvendelse. Dette kan løses ved lagring (f.eks. ved hjælp af batterier eller pumpekraftværket i Dinorwig) eller ved at kontrollere efterspørgslen, så den matcher tilgængeligheden, for eksempel ved at lade netoperatører bestemme, hvornår husholdningsapparater og industrielle processer kan køre. Der er allerede mange udviklinger på dette område i Storbritannien, og vi antager, at de kan fungere i tilstrækkelig skala i 2050 til at forhindre behovet for overskydende produktion.

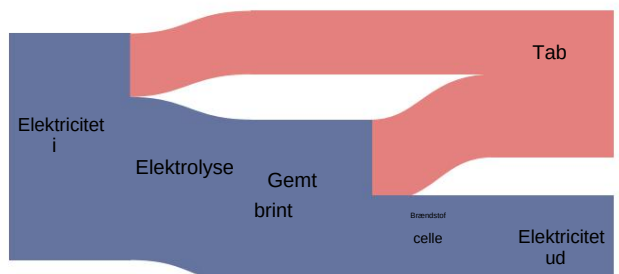
Batterier kan fungere i stor skala, men forbliver tunge. Til statiske anvendelser er dette ikke et problem, men til transport er det begrænsende: batteriet tegner sig for omkring en fjerdedel af vægten af en to-tons Tesla Model S. Teknologiuudviklere har derfor ledt efter alternative former for energilagring til brug i transport og fundet to vigtige muligheder: brint og ammoniak.

Brint produceres i øjeblikket hovedsageligt (95%) fra fossile brændstoffer ved dampreforming af metan, hvilket fører til frigivelse af en betydelig mængde drivhusgasser, der ikke giver nogen fordel som en form for energilagring. Det kan dog også fremstilles af vand ved elektrolyse, selvom figur 2.24 viser, at dette indebærer tab, der afhænger af anvendelsen, men kan være højere end dem i figuren afhængigt af den anvendte lagringsform. Hvis vi i fremtiden har et overskud af elektricitet fra ikke-emitterende kilder, kan vi bruge det til at producere brint, som derefter kan bruges til at drive køretøjer.

Ammoniakforbrænding til skibsfart kan muligvis blive tilgængelig i fremtiden, men det fører i øjeblikket til produktion af NO_x, som er et kraftigt luftforurenende stof. Derudover produceres ammoniak i øjeblikket fra fossile brændstoffer, hvilket resulterer i emissioner. Selvom det er muligt at bruge brændselsceller til at producere ammoniak ved hjælp af vedvarende elektricitet, findes der i øjeblikket ingen sådan proces i kommerciel drift, og implementeringen i stor skala ville igen være en yderligere byrde for dekarboniseringen af elnettet.

En yderligere mulighed for energilagring og -overførsel er gennem varmenetværk, der opsamler "spildvarme" fra

Figur 2.24: "Rundturs"-effektivitet af brintlagring



industrielle processer og bruge det f.eks. til boligopvarmning. Omkring 1 % af Storbritanniens hjem opvarmes af varmenetværk, men det har vist sig vanskeligt at udvide dette antal på grund af de høje omkostninger til den nødvendige infrastruktur.

Emissionsopsamling

Selvom ikke alle er relateret til energisystemet, er der blevet foreslået adskillige nye tilgange til at opfange kulstofemissioner. Kulstofopsamling og -lagring (CCS) bruges i meget lille grad af olieindustrien til at øge produktionen gennem den proces, der kaldes "Enhanced Oil Recovery": komprimeret CO₂ pumpes ind i de bjergarter, hvor olien er lagret, for at drive mere af den til brønden.

I over tyve år er CCS blevet foreslået som den vigtigste teknologi til fortsat produktion af elektricitet fra gas og kul. Det eneste kraftværk, der bruger CCS – Boundary Dam-projektet i Saskatchewan i Canada, et meget lille kraftværk på 0,1 GW – producerer dog ikke gennemsigtige tal for ydeevne, og da det sidst blev rapporteret af forskere ved MIT, opsamledes det sine emissioner, men frigav det derefter. Denne teknologi er, på trods af den meget velfinansierede lobby, der støttes af den etablerede olie- og gasindustri, langt fra moden eller klar til at blive inkluderet i meningsfulde afbødningsplaner.

Planer om "Bioenergi-CCS" eller "BECCS", der hævder at være CO₂-negative – at afbrænde biomasse og lagre kulstof permanent under jorden – er fuldstændig usandsynlige på grund af manglen på biomasse og bør ikke tages seriøst.

Kulstofopsamling og -udnyttelse (CCU) er blevet en nøgleteknologi, der promoveres af industrielle operatører af konventionelle anlæg, især stål- og cementindustrien, men den kræver betydelig yderligere elektrisk input, som tydeligvis ikke vil være tilgængelig før 2050.

I fremtiden tillader CCU konventionelt stål og cement produktionen skal genstartes, men kun når vi har overskydende ikke-udledende elektricitet.

Faktisk kræver ideen om kulstofopsamling og -lagring ingen ny teknologi, da den kunne udvikles ved at øge det areal, der er afsat til skovbrug eller "skovrejsning". Vi mangler ikke træfrø, og i stedet oplever verden skovrydning under presset af behovet for jord til landbrug for at kunne levere mad. Plantning af nye træer er den vigtigste teknologi på denne side og kræver ingen teknologisk innovation.

Industrielle processer

Ud over sin potentielle anvendelse inden for energilagring skaber brint yderligere muligheder i industrielle processer, fordi det er tilstrækkeligt reaktivt til at kunne bruges til at reducere jernmalm til svinejern uden at frigive kulstofemissioner i reaktionen. Stål er blevet produceret i laboratorieskala ved hjælp af brint, og pilotanlæg er nu under udvikling for at demonstrere produktion i højere skala.

Det vil dog kun være foreneligt med en fremtid med nul emissioner, når brinten produceres med ikke-emitterende elektricitet, og vi ikke har nogen ekstra ikke-emitterende elektricitet til at tillade dette at ske.

Efter 2050 har de etablerede operatører af fremstilling af højovnsstål adskillige proceskoncepter til fremstilling nyt stål fra jernmalm uden emissioner. De tre vigtigste

De områder, der diskuteres, er: adskillelse af CO₂ fra andre højovngasser og anvendelse af CCS på det; brug af brint i stedet for koks til at omdanne jernmalm til stål; adskillelse af CO₂ fra andre højovngasser og anvendelse af det til andre formål via CCU. Alle tre ruter viser rige teknologiske muligheder, men vil ikke blive opereret i stor skala før

2050.

Flyvning og forsendelse

Elektriske fly er under udvikling, men vanskelige: den begrænsede forbedringstakt i solcellernes effektivitet vist i figur 1.10 antyder, at solenergi aldrig vil være tilstrækkelig til kommerciel flyvning med flere passagerer.

I mellemtiden har vi endnu ikke fundet et tilstrækkeligt gennembrud inden for batteriudvikling til at forudse tilstrækkelig letvægtslagring. Den mest lovende vej ser ud til at være syntetisk jetbrændstof - hvilket uundgåeligt først vil være vigtigt efter en betydelig stigning i ikke-emitterende elproduktion.

Dekarbonisering af skibsfart er vanskelig med nuværende teknologier. Selvom kortdistanceskibsfart kan elektrificeres ved hjælp af batteridrevne motorer, kræver langdistanceskibsfart en forbrændingsproces. Atomfremdrift af skibe tilbyder et levedygtigt alternativ til den nuværende langdistanceskibsfart, og det bruges allerede, dog næsten kun i militærfartøjer. Nogle kommercielle operatører undersøger i øjeblikket muligheden for at tilføje sejl til konventionelle skibe for at reducere deres dieselbehov.

Hovedbudskab: Problemet med banebrydende teknologier er ikke vores mangel på idéer, men den meget lange tid, det tager at føre en idé i laboratorieskala gennem den tekniske og kommercielle udviklingscyklus, før den kan begynde at erobre en betydelig andel af verdensmarkedet.

3. Overgange:

Hovedbudskab: Ingen enkelt aktør kan opnå det absolutte nulpunkt. At opnå det er en rejse, der afhænger af samarbejde mellem enkeltpersoner, virksomheder og regeringer, der handler på god information.

Det absolutte nulpunkt er en rejse

Handling mod klimaforandringer afhænger af samarbejdet mellem tre "aktører", som er illustreret i figur 3.1. Offentligheden, regeringen og virksomhederne skal handle i fællesskab for at ændre den måde, vi producerer, forbruger og lever på. Store dele af offentligheden er i stigende grad bekymrede over klimaforandringer, og nogle foretager individuelle handlinger, såsom at spise mindre kød, lede efter lokalt fremskaffede produkter eller tage flyet sjældnere. Politisk har dette resulteret i en vækst i støtten til de grønne partier i hele Europa. Virksomheder, drevet af offentlighedens krav og drevet af effektivitet, søger mere effektive produktionsmetoder og udvikler produkter, der er i overensstemmelse med en fremtid med nul emissioner. Regeringer omfavner offentlighedens og virksomhedernes drivkraft for at få økonomien til at vokse og vinde stemmer.

Trods denne velvilje over for forandring synes de vigtige forandringer, der er skitseret i denne rapport, ikke at ske, eller i hvert fald ikke i et tilstrækkeligt tempo. En væsentlig årsag til dette er, at disse forandringer forsøges uden den nødvendige tillidsopbygning mellem aktørerne, der kan gøre dem succesfulde. Forandringsaktørerne er i realiteten fanget i et fangers dilemma, og de foreslåede ændringer får det til at virke som en statisk version af spillet.

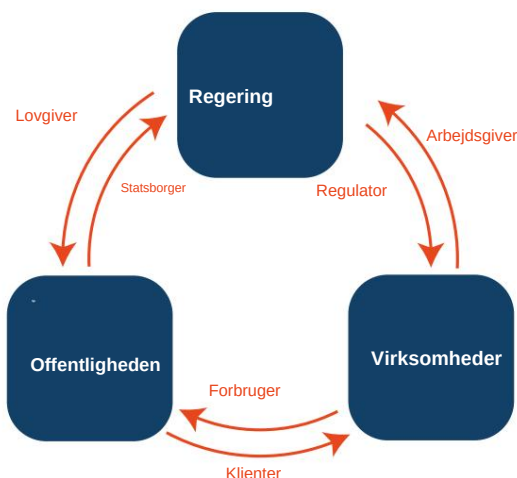
Fangers dilemma er et teoretisk spil, hvor det bedste resultat for spillerne ikke kan opnås, hvis spillerne kun følger deres egne interesser. Der er mange varianter af historien, men i bund og grund forløber den sådan her:

dette: to banditter har lige med succes røvet en bank og blev kort efter fanget for en mindre forseelse. De holdes i separate celler, og hver får at vide, at deres medskyldige også er blevet fanget. De kan hoppe af og anklage deres medskyldige for røveriet, i hvilket tilfælde de vil få mindst en reduceret straf, eller de kan samarbejde og nægte at anklage hinanden. Hvis de begge hopper af, vil de begge få en reduceret straf. Hvis de begge samarbejder, vil de begge få en lille bøde, hvis den ene samarbejder, og den anden hopper af, vil afhopperen gå fri, og den samarbejdsvillige vil få en fuld

dømme.

Spilteori forudsiger, at de begge bør hoppe af: Ja, der er intet resultat af samarbejde, som ikke kan forbedres ved at hoppe af ... Hver dag står vi alle over for mange sådanne dilemmaer - men hver dag samarbejder vi snarere end at hoppe af! Dette skyldes, at fangers dilemma, når det spilles igen og igen, er et helt andet spil, der vindes ved at opnå samarbejde. Når man betragter det såkaldte itererede fangers dilemma, er det ikke enkeltstående træk, men strategier, der betyder noget. Dette er et velundersøgt problem, og de vindende strategier, der opnår samarbejde, deler en række grundlæggende karakteristika: de straffer afhoppere, de belønner samarbejdspartnere, og de er enkle nok til, at de kan forstås af observatører. Anden forskning, der ser på, hvordan mennesker spiller i spil, sammenlignet med spilteoriens forudsigelser, antyder en anden afgørende egenskab ved vindende strategier: de kooperative strategier skal også være retfærdige. Marginalt kooperative træk vil blive behandlet som afhopper.

Figur 3.1: De tre "aktører" i klimaforandringer



På samme måde skal den transformation, der kræves for at afbøde klimaforandringer, udspilles som det gentagne spil og ikke ses som et enkelt stort skridt, der højst sandsynligt vil blive modstået og mislykkes. Heldigvis favoriserer spil med tre spillere samarbejde i nogen grad, i modsætning til varianten med to spillere.

Desværre kan det at have flere aktører føre til, at hver enkelt aktør forsøger at forsinke ændringerne. For at opnå den nødvendige transformation er små, trinvis ændringer de umiddelbart nødvendige skridt til at opbygge og

styrke tilliden mellem aktørerne.



Casestudie: genbrug af stål

I øjeblikket genbruges det meste af stålet fra nedrivninger.

Der er intet andet, der kan gøres med armeringsstålet i beton, end at stålbjælker med standardprofiler, der ikke beskadiges som strukturelle elementer, kan genbruges. Hvis ikke direkte, er bjælkerne så gode som nye efter sandblæsning og montering af nye forbindelser. Det meste af forskningen i barrierer for genbrug af stål fokuserer på certificeringsproblemet: stål, der skal bruges i byggeri, skal certificeres, men processen med at opnå certificering forudsætter, at bjælken kommer fra et værk og ikke kan overføres til allerede brugte bjælker.

Det er dog muligt for en lille pristillæg at teste bjælkerne og garantere, at de har alle de nødvendige egenskaber.

Det, vi fandt ud af, er, at den største hindring i forsyningskæden var, at genbrug af stål sætter køberen af bygningen, der ønsker at bruge stål fra genbrug, og producenten, der er ansvarlig for konditioneringen af bjælkerne, i et fangens dilemma.

Renovering af stål tager cirka dobbelt så lang tid som direkte konditionering af en ny stålbjælke.

fra støberiet. Selvom producenten kan opkræve betaling for denne tid, vil et projekt, der opgives – altid en risiko i byggeriet – resultere i store tab. Derfor mislykkedes alle projekter, vi kunne undersøge, hvor producenten ikke var en del af planlægningen. Vores foreslåede løsning er, at stålforhandleren påtager sig arbejdet med at renovere og re-certificere stål, så producenten aldrig behøver at vide, om stålet stammer fra genbrug eller ej. Ved at fungere som en betroet mellemmand ville dette undgå projektfejl på grund af, at producenten ikke ønsker at bære hele risikoen. Den indledende investering kunne understøttes af offentlige tilskud, og vi viste, at dette generelt ville være rentabelt.

Casestudie: Cykling i Holland

Efter Anden Verdenskrig havde Holland, ligesom

Resten af Europa omfavnede biler som et symbol på frihed og mobilitet og havde bygget motorveje og veje for at imødekomme denne nye transportform.

Alene i 1971 døde 300 børn i Holland i ulykker med biler, hvilket førte til omfattende protester. I 1973-74 forårsagede oliekrisen oliemangel, hvilket fik den hollandske regering til at søge efter strategier, der kunne mindske olieafhængigheden. Demonstranterne krævede en tilbagevenden til cykelkulturen, som havde været en vigtig del af hollandske vaner indtil krigen, og regeringen benyttede lejligheden til at lancere en række cykelvenlige initiativer: en række bilfri søndage i årenes løb. Nogle bycentre blev gjort bilfri. Disse tiltag viste sig at være populære og blev efterfulgt af opførelsen af cykelspecifik infrastruktur.

Fra midten af 70'erne og fremefter blev cykler integreret i byplanlægningsbeslutninger, hvilket betød, at der ikke kun blev anlagt cykelstier, men også trafikdæmpede gader.

cykelparkering skal være tilgængelig på bekvemme steder, og cykeltrafik skal integreres i den generelle offentlige transportinfrastruktur. Da cyklen ses som et symbol på Holland, har det været muligt at vedtage strengere lovgivning: for eksempel er det siden 1992 altid bilistens forsikring, der er ansvarlig for omkostningerne i en ulykke i Holland. Sikker interaktion med cykler er

en del af at bestå kørekortet. Efterhånden som cyklernes popularitet voksede i 90'erne og 2000'erne, blev større investeringer i cykelinfrastruktur mulige med offentlighedens støtte, hvilket førte til, at endnu flere cyklede.

Samlet set er den nuværende hollandske cykelkultur resultatet af en lang proces, hvor flere ændringer i lovgivning, vaner og infrastruktur har været selvforstærkende, hvilket har ført til den situation, hvor Holland i dag er Europas førende land i cyklede kilometer.



3.1 Individer – hjemme og på arbejde

Demonstranter og skolestrejkende har øget vores

bevidsthed om behovet for at håndtere klimaforandringer. En person, der ønsker at reducere sine personlige udledninger, kan finde et væld af information på sociale medier, hjemmesider og

Podcasts, der beskriver de handlinger, de kan foretage. Adfærdsændringer, der kræves for at opnå nul emissioner inden 2050, praktiseres allerede af nogle mennesker nogle steder: nogle mennesker vælger allerede ikke at flyve, at være veganere, at dele bil, at sænke temperaturen i deres hjem og kontorer. Hvis der kunne ske storstilet social forstærkning, som det skete med 'Me Too'-bevægelsen, kunne der så ikke ske en kulturel ændring, der muliggør nul emissioner inden 2050?

Selvom den offentlige bevidsthed om behovet for at handle er steget, har Storbritannien ikke reduceret sit ressourceforbrug betydeligt i de seneste årtier. Det Internationale Energiagentur har rapporteret, at det samlede endelige energiforbrug kun er faldet med 7 % siden 1990-niveauet. Enkeltpersoner bruger fortsat næsten lige så meget energi, som de gjorde for 30 år siden, hvilket tyder på, at eksisterende strategier til at motivere enkeltpersoner til at bruge mindre energi ikke skaber den nødvendige effekt.

Sociale normer og individuel adfærd

Der er en misforståelse mellem omfanget af de handlinger, som regeringen anbefaler (f.eks. energibesparelser), og dem, der oftest udføres af enkeltpersoner (f.eks. genbrug). Handlinger, der kan have en stor effekt, såsom bedre isolering i huse og at undgå at flyve, ignoreres til fordel for små, højprofilerede handlinger, såsom at undgå at bruge plastiksugerør. Dette gør det muligt for enkeltpersoner at føle sig tilfredse med, at de 'yder deres bidrag' uden rent faktisk at foretage de livsstilsændringer, der kræves for at nå nul-emissionsmålet. Hvis storstilet social forandring skal lykkes, er der behov for en ny tilgang.

Selvom tanken om, at samfundet skulle tage radikale, meningsfulde skridt for at nå nul-emissionsmål, kan kritiseres for at være idealistisk, kan vi lære af historiske kulturelle forandringer. For ikke så længe siden blev rygning af cigaretter opfordret til og anset for at være acceptabelt i offentlige rum, som børn ofte færdedes i, spirituskørsel blev praktiseret med en sådan regelmæssighed, at det dræbte 1000 mennesker om året i Storbritannien, og diskrimination baseret på seksuel orientering

blev skrevet ind i loven. Disse adfærdsmønstre synes nu at være forkasteligt, hvilket viser, at samfundet er i stand til at anerkende de negative konsekvenser af visse former for adfærd og socialt forbyde deres praksis. Fokus bør derfor være centreret om at fremskynde udviklingen af nye sociale

normer med tillid til, at forandring kan ske.

Evidens fra adfærdsvidenskab og den lange erfaring inden for folkesundhed med ændret adfærd omkring rygning og alkohol viser, at information alene ikke er nok til at ændre adfærd. For at foretage de typer ændringer, der er beskrevet i denne rapport, bliver vi nødt til at tænke bredere på de økonomiske og fysiske kontekster, hvor designere, ingeniører og medlemmer af offentligheden

træffe beslutninger, der bestemmer CO₂-udledningen. På

Samtidig er klar, præcis og gennemsigtig information om problemer og effektiviteten af de foreslåede løsninger afgørende for at opretholde offentlig støtte til politiske interventioner.

Formuleringen af kommunikationen er også vigtig. Budskaber formuleret om frygt og klimakrise har vist sig at være ineffektive til at motivere til forandring. Den lange udfordring med at reducere emissioner og manglen på umiddelbare eller endda synlige konsekvenser af små individuelle handlinger gør det vanskeligt at forbinde dem med den store klimakrise. Dette giver enkeltpersoner mulighed for at

træffe beslutninger, der står i kontrast til deres ønske om at reducere emissioner. Videnskabelig beskrivelse er ikke altid det mest effektive kommunikationsmiddel, og sprog, der bruges til at fremme nul emissioner, bør ikke længere fokusere på et 'miljøvenligt' og 'grønt' leksikon, men snarere ærlige beskrivelser af handlinger, der appellerer til menneskelig opfyldelse. Beviser fra Tidsforbrugsstudier viser, at menneskelig tilfredsstillelse ikke er strengt afhængige af at bruge energi – de aktiviteter, vi nyder mest, er dem med det laveste energibehov. Forbrugerne kan være tilfredse i et nul-emissionslandskab.

Enkeltpersoner og industri

Hvis målene om netto-nul CO₂ skal nås, er hele samfundet nødt til at ændre sig, ikke kun dem, der er motiveret af miljøet. Derfor bør industrien, udover at overtale og støtte enkeltpersoner til at ændre sig gennem miljøkampagner og engangsprojekter for bæredygtighed, integrere en strategi for netto-nuludledning i den sædvanlige praksis og kun tilbyde produkter og tjenester, der opfylder forbrugernes velfærdsbehov uden emissioner.

Denne forandring vil blive drevet af enkeltpersoner, der handler i deres professionelle kapacitet, som ledere, designere, ingeniører, omkostningskonsulenter osv. En bygningsingeniør, der designer en betonbygning, har langt større indflydelse på CO₂-udledning gennem sine designbeslutninger på arbejdet end gennem sin personlige livsstil. Derfor gælder dette afsnit, udover de forandringer i virksomheder, der diskuteres i det følgende afsnit, også for enkeltpersoner på arbejdet.

Hovedbudskab: Ændringer i sociale normer og individuel adfærd kan formuleres positivt, så de appellerer til menneskelig tilfredsstillelse. Motiverede individer kan være lige så effektive på arbejdet som derhjemme.

3.2 Overgange i virksomheder

Mange af de muligheder og ændringer, der er identificeret i de første afsnit af denne rapport, vil involvere virksomheder, der foretager ændringer i de typer teknologier, de bruger, eller den måde, de bruger dem på. Men denne type forandring kan være vanskelig at motivere. Dette afsnit undersøger, hvorfor dette er tilfældet, og diskuterer rollen af incitamenter, markedstiltrækning, standardisering og samarbejde i at opnå den nødvendige forandring.

Udfordringer ved at skifte teknologier til nul emissioner

Vi er omgivet af en konstant strøm af teknologisk innovation på nogle områder – men på andre har nogle brancher været langsomme til at reagere og integrere relevante innovationer i deres driftsmodeller. Generelt sætter introduktionen af nye generationer af produkter tempoet for teknologiindsættelsen. Når nye produktionsteknologier og -processer introduceres, er de generelt andenordens teknologiindsættelser: det vil sige, at de ofte ikke er centrale for funktionaliteten af det næste produkt, men i stedet er drevet af forbedringer i omkostninger, kvalitet og logistik.

I sådanne tilfælde udføres en grundig vurdering af teknologiens fordele, modenhed og parathed, især hvor forandring repræsenterer en form for risiko. Uden drivkraften bag en ny produktlancering og tilhørende ny indtægtsstrøm har virksomheder udvist en risikoavers holdning til betydelig transformation af teknologistakken. Dette gælder især i tilfælde med lav produktlanceringskapasitet, og sikkerhed er kritisk. I sådanne tilfælde har nye teknologier måttet bestå tidens prøve, før de blev overvejet til fuld implementering.

En anden årsag til gradvis teknologiadoption er den manglende tilbøjelighed til at investere, især i veletablerede brancher, hvor omkostningerne til ny kapital ville være uoverkommelige.

Incitamenter til teknologisk innovation

Ved at bruge "guleroden og pisken"-analogien er det let at forstå, at innovation kan have svært ved at trænge ind i en organisation uden den rette form for gearing og motivation. Regeringer kan pålægge yderligere skatter, politikker og reguleringer for at opnå de ønskede ændringer, men dette kan være kortvarigt med den næste række politiske ændringer. Emissions- og energiløfter kan ses som en "pisk", men økonomiske belønninger og kundeværdige grønne legitimationsoplysninger vil blive opfattet som en "gulerod".

Ideelt set bør der være en markedstiltrækning, der drives af slutkunden. Organisationer er mere tilbøjelige til at anvende innovation og teknologi, når der er en direkte

korrelation med øget omsætning og afkast. De er også mere tilbøjelige til at forfølge mål, der resulterer i produkter og tjenester, der bruger færre ressourcer, men stadig værdsættes lige så meget eller mere af kunden.

Forbrugerne er mere bevidste om de makroøkonomiske effekter af deres købsvalg, og der er en tendens til virksomheder, der har de samme brandværdier. For en virksomhed kan dette være svært at drage fordel af, da disse kvaliteter ikke er let synlige for slutkunden. Udover at ændre fremstillingsprocessen og forretningspraksis i retning af en mindre CO₂-intensiv model, skal de også bruge penge på reklame og branding, så potentielle kunder informeres om disse mindre synlige ændringer og fordele.

Opnåelsen af det absolutte nulpunkt kræver næsten helt sikkert forlænget levetid og bedre udnyttelse af visse produktkategorier, men med gradvis indførelse af mere bæredygtig produktion og gennemgående ingeniørteknologier gennem hele levetiden. Denne holdning er i modstrid med den ovenfor beskrevne situation og kræver en ny mekanisme til at etablere en kadenc af positive teknologiske ændringer.

Den mest oplagte måde at etablere en sådan kadence via offentlig intervention ville være etableringen og accepten af en form for 'køreplan', der fastsætter fremskridt og tidsbundne forbedringsmål.

Standardiseringens rolle

Standardisering kan spille en betydelig rolle i at reducere industrielt og husholdningsenergiforbrug og CO₂-produktion.

I mange brancher har standardisering og deling af bedste praksis banet vejen for mindre ressourceduplikering og bedre kundeoplevelser. Et eksempel, der ofte nævnes, er pæren, men et mere moderne eksempel ville være telefonopladeren. I mobiltelefonindustriens tidlige dage havde ikke kun hver producent deres egne opladere, men hver model havde sin egen stiktype. Da kundernes vaner blev analyseret, viste det sig, at kunderne ønskede at opgradere til en ny telefon hvert par år, og derfor ville der meget hurtigt opstå en ophobning af ubrugelige opladere og stik, der endte på lossepladser.

Flere af de store producenter udviklede en standardoplader og -stik, der fremover ville blive brugt til alle modeller. Dette havde fire primære fordele:

- Reduktion af unødvendige variationer i opladere og produktion af ældre dele.
- Forbedret kundeoplevelse, da telefoner kan oplades med enhver oplader og ikke længere er begrænset til ét stik.
- Telefonproducenter omdirigerer midler og ressourcer væk fra design af opladere og stik til andre dele af produktet, som var mere værdsatte af

kunde.

- Brugere, der investerer i opladere af højere kvalitet, der kan bruges i årevis uden at skulle udskiftes, og en reduktion af e-affald.

I andre brancher kræver den nuværende praksis ofte specialiserede komponenter og dele, der er designet specifikt til deres tilsigtede anvendelse. Med standardisering følger en reduktion i designfleksibilitet. På et allerede mættet marked forsøger virksomheder at differentiere deres produkter og tjenester fra hinanden.

Tilpasning giver dem i øjeblikket mulighed for at nå disse mål, men som diskuteret ovenfor kan de miljømæssige fordele ved standardisering i fremtiden udgøre en alternativ kilde til differentiering.

Det er muligt, at den gradvise udrulning af standarder over tid kan danne et centralt og håndgribeligt element i enhver køreplan for at opnå det absolutte nulpunkt. Udviklingen af standarder, der driver positive forandringer, ville dog være fuldstændig afhængig af nogle centrale principper for bagudkompatibilitet, således at implementeringen af hver ny standard undgår øjeblikkelig forældelse af eksisterende.

aktiver.

Få samarbejdet til at fungere

Opnåelsen af det absolutte nulpunkt synes at være uden for individuelle virksomheders, og endda nationers, evne til at vedtage.

Det kræver et niveau af samarbejde, som måske kun er set i krigstid.

At bevæge sig ud over den rene konkurrencemodel og integrere noget af læringen fra samarbejdsmodellen kan være gavnligt for både konkurrenter og miljøet. Udover at eliminere åbenlys overlapning af ressourcer, vil der være behov for et nyt niveau af samarbejde, så fordelene ved fælles læring hurtigt kan trænge igennem forsyningskæder og horisontalt på tværs af sektorer.

Dette udgør en mere kompleks juridisk og organisatorisk udfordring for den traditionelle produktions- og forretningsmodel, men en som kan skabe nye muligheder for tidlige brugere.

Den nødvendige overgang vil omfatte den nuværende overgang ud over den traditionelle produktionslinje til mere fleksibel produktion for øget fleksibilitet, samtidig med at der anvendes en afbalanceret og holistisk planlægningstilgang, der muliggør overvejelser gennem hele levetiden. Analysens rolle i dette

model baseret på øget computerkraft, men også CO2-påvirkningen af datalagring og -overførsel er en kompleks affære. Indsamling af information om hele fremstillingsprocessen fra alle deltagere i forsyningskæden og derefter analyse af resultaterne for at producere den holistiske ressourceforbrug er en af måderne til virkelig at forstå, hvad der indgår i det endelige produkt. Indsigt fra denne information vil muliggøre udviklingen af en gyldig køreplan mod det absolutte nulpunkt, men der er udfordringer med at indhente og bruge denne information, som vil blive diskuteret senere i afsnit 3.4.

Et kig ind i fremtiden

Teknologisk innovation og forandringsparathed er ved at blive en ønskværdig egenskab. Med forkortede produkters livscyklusser er organisationer nødt til at anvende en mere agil tilgang til at reagere på markedets behov. At imødekomme denne forbrugermåltid har ført til produktion af produkter af lavere kvalitet, der fejler på det tidspunkt, hvor forbrugeren ville være på udgik efter at opgradere eller udskifte produktet. Der er behov for en udvidelse af tilgange til gennemløbs-livstids-tekniske løsninger ud over aktiver med ultrahøj kapitalværdi til mere almindelige forbrugerprodukter. Dette betyder i bund og grund at producere produkter af meget højere kvalitet med dele, der kan

demonteres, hentes og genbruges. Produkterne kan enten adskilt og samlet igen med nogle ændringer

og videresælges, eller de kunne kaskaderes ned i et helt nyt produkt. Dette ville kræve fremadrettet planlægning, standardisering og modulær designtænkning.

Organisatorisk og tværorganisatorisk kultur skal over tid matche ambitionen om det absolutte nulpunkt for i sig selv at blive det store incitament og drivkraften bag en positiv forandringstakt. Ingen organisation kan overhale deres arv, derfor er en køreplan, der forpligter dem til reel forandring, samtidig med at virksomheden forbliver rentabel nu og i fremtiden, ønskelig.

Dette afsnit har fokuseret på teknologiske overgange i eksisterende virksomheder, men succesfulde, disruptive transformationer kommer ofte fra udenforstående og nye

aktører. Derfor er der også behov for støttemekanismer for nye virksomheder, der introducerer nul-CO2-kompatible forretningsmodeller og produktionsprocesser som et alternativ til status quo.

Hovedbudskab: Der er behov for aftalte køreplaner, nye former for markedstiltrækning og samarbejde for at sprede den nødvendige teknologiske innovation i hele industrien.

3.3 Regeringens handlinger

Regeringen bliver nødt til at handle for at skabe den kontekst, hvor de individuelle og forsyningskædemæssige ændringer, der er beskrevet i de foregående afsnit, kan udvikle sig. Der er også et strategisk valg om overgangshastigheden, som bør forfølges.

Figur 3.2 viser tre potentielle veje til energireduktion for at nå det absolutte nulpunkt i 2050. Dette er baseret på en vækst i udbuddet af energi fra vedvarende energikilder, der vokser med den hastighed, der er angivet i figur 1.1. Det betyder, at efterspørgslen skal reduceres til 60 % af det nuværende niveau inden 2050. Væksten i energiforbruget efter 2050 vil blive drevet af løbende vedvarende og andre kulstoffri teknologier. Forskellen mellem analysen før 2050 og efter 2050 er, at de skridt, der tages for at nå 2050-målet, skal baseres på teknologier, der allerede findes, og som har de klare mekanismer til at skaleres, hvorimod væksten efter 2050 kan afspejle nye teknologier. De tre potentielle veje til energireduktion afspejler tre forskellige tilgange, afhængigt af omfanget af forsinkelsen. Hvad disse tre veje

ikke viser, er at omkostningerne eller ofrene er nødvendige for en reduktion af ekstra procentpoint er ikke konstant: initiale reduktioner vil sandsynligvis være meget lettere. Dette indebærer igen, at hvis ønsket er at fordele omkostningerne ved reduktionen ligeligt over de 30 år til det absolutte nulpunkt, så skal den faktiske kurs afspejle et skarpt tidligt fald, som i den stiplede røde linje.

Absolut nul betyder to ting: for det første, at ingen industri eller husholdning kan producere kulstof; for det andet, at energiforbruget i gennemsnit på tværs af økonomien skal falde til 30 % af det nuværende niveau. Denne sondring mellem

CO₂-reduktion, som er en forpligtelse for alle industrier, og en energireduktion, der er i gennemsnit, fører til meget forskellige substitutionsmuligheder: der er ingen erstatninger for reduktion af CO₂ til nul, men der

der skal være en mekanisme til allokering af knappe energiresourcer. At sikre et CO₂-nulpunkt er et reguleringsspørgsmål, med forbud mod brugen af CO₂ svarende til forbud mod brugen af asbest. At sikre, at energiforbruget reduceres samlet set, kræver en allokeringsmekanisme, og at energiprisen afspejler dens knaphed. I et sådant scenarie vil ejerne af produktionsmidlerne til vedvarende energi opnå meget store overskud. Dette rejser igen både effektivitets- og fordelingsproblemer.

Vi opdeler diskussionen i fire komponenter: for det første om mulighederne for substitution væk fra kulstof- og energiforbrug på tværs af forskellige sektorer; for det andet om indvirkningen på jobtyperne og placeringen af job; for det tredje om den samlede indvirkning på output; og endelig om implementeringen.

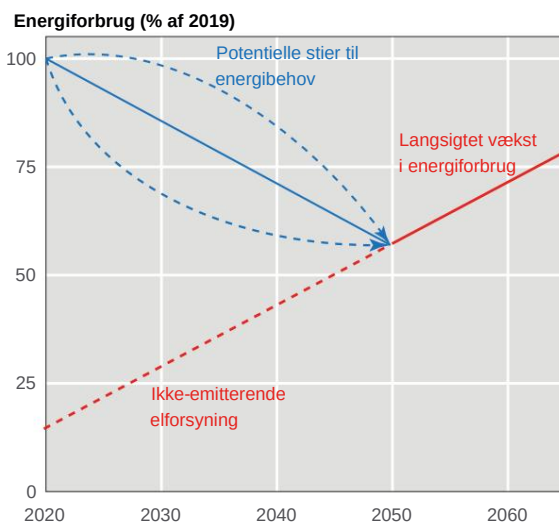
Produktionssubstitution

Kernen i forståelsen af den absolutte nuls indvirkning på økonomien er en forståelse af substitutionsmulighederne væk fra kulstof og energi i forskellige industrier og produktionsprocesser.

Afsnit 2.3 omhandler mulighederne for byggesektoren: produktion af cement indebærer udledning af kulstof, og derfor kan cement i sin nuværende form ikke anvendes

i byggeriet. I øjeblikket er der intet alternativ til brugen af cement, og derfor er byggebranchen nødt til radikalt at ændre sin produktionsproces eller lukke. I dette tilfælde betyder radikal ændring enten at vende tilbage til at bruge træ eller andre naturprodukter (men dette begrænser igen størrelsen af bygninger, så sektoren ikke kan fortsætte som den er), eller at udvikle alternativer til den nuværende cementproduktion, der er beskrevet i afsnit 2.2, men dette begrænser igen størrelsen af bygninger, og sektoren kan ikke fortsætte som den er. Dette har konsekvenser for den måde, virksomheder og husholdninger fungerer på. Bygninger skal genbruges i stedet for genopbygges. På den anden side er det ikke klart, hvordan den eksisterende bygningsmasse skal vedligeholdes, og konklusionen er, at bygningsareal (boliger og erhverv) vil have en stadigt stigende præmie.

Figur 3.2: Veje for begrænsning og vækst



Byggebranchens vanskeligheder fremhæver virkningen på alle aktiver, der anvendes i en branche, hvor der ikke findes erstatninger for kulstof – såsom fly eller industrianlæg. Værdien af disse aktiver vil være nul i 2050, og dette bør direkte påvirke ønsket om at investere i disse aktiver nu. Dette peger på implementeringsproblemet: at realisere værdien vil være nul i 2050 kan tilskynde til større brug i tiden op til 2050 – for eksempel at opføre nye bygninger i et meget hurtigere tempo i de næste 30 år, vel vidende at byggeriet derefter skal stoppe. På den anden side viser figur 1.1, at værdien af investeringer i processer til kulstofneutral energiproduktion vil stige kraftigt.

Job og placering

Der er to centrale konsekvenser for, hvordan vi lever vores liv: for det første vil bygninger blive meget dyrere på grund af restriktionerne for byggeri, som skaber betydelige mangler; for det andet vil transport blive meget dyrere, fordi begrænsningerne på flyrejser vil generere overdreven efterspørgsel efter andre transportformer. Med dyrt mener vi de direkte omkostninger for en person eller virksomhed, men også

indirekte omkostninger i form af reduceret kvalitet. Vi forventer, at disse to væsentlige ændringer vil føre til pres på den mængde plads, som den enkelte bruger, og også hvor folk vælger at bo og arbejde. Dette peger på øget centralisering med vækst i byerne.

Det bredere problem med ændringerne i arbejdsmarkedet er at vide, hvilken type arbejdskraft eller job der vil være efterspurgt. De, der starter i gymnasiet nu, i 2019, vil være 43 år i 2050. At tænke over, hvilken uddannelse der er passende for en helt anden række brancher, er et centralt spørgsmål. Skal vi stadig uddanne piloter? Eller luftfartsingeniører?

Hvordan uddanner vi arkitekter og bygningsingeniører? Uddannelsesbeslutninger er langt mere vedvarende end kapitalinvesteringer. Dette understreger igen behovet for at træffe beslutninger om investeringer nu, hvor gennemløbstiderne er meget lange, eller afskrivningssatserne meget lave.

Samlet indvirkning på output

Økonomisk vækst i den industrialiserede verden har været forbundet med stigende energiforbrug. Langsigtede vækstrater vil også blive begrænset af den hastighed, hvormed energiproduktionen kan vokse, hvilket afhænger af vækstraten for vedvarende energi. Det centrale spørgsmål i overgangen er, hvor meget produktionen vil falde for at nå et niveau, hvor kun 30 % af den nuværende energi bruges, og der ikke produceres noget kulstof. Vi har diskuteret den direkte indvirkning af dette på bygge- og transportsektoren. Hvad dette overser, er den indbyrdes afhængighed mellem de ikke-udledende og udledende sektorer. Specialisering i produktion og erstatning af energi med arbejdskraft har været centrale drivkræfter for vækst og øget produktivitet. Det åbne spørgsmål er, om specialisering stadig kan opnås uden afhængighed af

energi.

Disse påvirkninger på produktionen vil ikke mærkes ligeligt i hele landet. Industrier er typisk geografisk koncentreret – såsom stålproduktion – og det betyder

at store produktionsskift vil have koncentreret konsekvenser. Landdistrikter eller mere isolerede samfund vil sandsynligvis blive uforholdsmæssigt påvirket. Den største fordelingsmæssige påvirkning er dog generationsoverskridende: omkostningerne ved at nå det absolutte nulpunkt vil blive båret af den nuværende generation.

Implementering

Ændringerne i adfærd for at opnå det absolutte nulpunkt er tydeligvis betydelige. I princippet kan disse ændringer fremkaldes gennem ændrede priser og dermed give klare incitamenter til adfærdsændring. Alternativet er, at regeringen forbyder visse typer adfærd og regulerer produktionsprocesser. I betragtning af hvor vanskeligt det er for regeringen at vide, hvilken produktionsproces der skal ændres, eller hvilke innovationsmuligheder der er tilgængelige for virksomheder, er den naturlige decentraliserede løsning, at regeringen enten sætter en pris på kulstof eller begrænser dets anvendelse direkte. Bestræbelserne på at opnå det absolutte nulpunkt betyder, at sondringen mellem disse to tilgange er irrelevant: prisen på kulstof skal være uoverkommeligt høj inden 2050 for at stoppe al efterspørgsel. I tiden op til 2050 er spørgsmålet, hvor hurtigt prisen på kulstof skal øges, eller tilsvarende, hvor hurtigt restriktioner på brugen af kulstof skal indføres. Det handler om at forstå denne tidslinje for prisstigningen (eller tidslinjen for stregheden af restriktioner på ...)

brug), hvilket er det centrale problem for implementeringen.

Den underliggende pointe er, at ethvert aktiv, der bruger kulstof, stort set vil have nul værdi i 2050. Dette kan til gengæld tilskynde til større brug i tiden frem mod 2050 – for eksempel at opføre nye bygninger i et meget hurtigere tempo i de næste 30 år, vel vidende at byggeriet så skal stoppe. Denne form for reaktion er tydeligvis kontraproduktiv: klimaproblemet handler om kulstoflageret snarere end strømmen.

Et naturligt spørgsmål i forbindelse med implementeringen af 2050-strategien er, hvordan man skal vurdere de økonomiske omkostninger ved forskellige tiltag. For eksempel hvordan man sammenligner omkostningerne ved at installere solpaneler med omkostningerne ved at køre i mindre biler. Individens betalingsvillighed giver et mål for værdien af at installere solpaneler (frem for at tage elektricitet fra nettet) eller værdien af at køre i en lille bil (frem for en større bil med samme funktionalitet).

Hovedbudskab: Den effektive pris på kulstof skal være uoverkommeligt høj inden 2050. Et centralt spørgsmål for, hvordan dette skal implementeres, er tidslinjen for, hvordan prisen skal vokse (eller restriktionerne skal gøres strengere) fra nu af og frem til 2050.

3.4 Oplysninger

Information spiller en afgørende rolle i at styre overgangen til absolut nul emissioner. Data om vores nuværende situation er nødvendige for at prioritere forandring og innovation, overvåge fremskridt og identificere "lyspunkter" for god praksis. Vi er også nødt til at forstå, hvordan fremtiden kan udvikle sig, og hvordan vi kan træffe valg nu, der er robuste over for fremtidig usikkerhed. Information alene er dog ikke tilstrækkeligt til at forårsage faktiske ændringer i adfærd, og

vi bør være opmærksomme på erfaringer fra adfærdsvidenskaben maksimere informationens effektivitet.

Information om det nuværende

At forstå det nuværende omfang af vores forskellige aktiviteter, der driver emissioner, er nøglen til at prioritere de adfærdsændringer og tekniske innovationer, der mest effektivt vil føre til emissionsreduktioner i det nødvendige omfang. Kort sagt kan virkningen af en ændring (uanset om den er adfærdsmæssig eller teknisk) repræsenteres som:

$$\Delta \text{Ændringens effekt} = \text{Skala} \times \Delta \text{Ændring i flow} \times \text{Effekt af flow}$$

For eksempel er det i byggeriet muligt at bruge efterspændte guldplader i stedet for standardpladetyper for at opnå en reduktion på 20% i cementforbruget ("ændringen i flowet" af cement, der kommer ind i byggeriet). Denne teknik kan dog kun anvendes på en brøkdel af alle de guldplader, der konstrueres ("skalaen"), og den samlede

Påvirkningen afhænger af flowets påvirkningsfaktor (i dette tilfælde drivhusgasemissioner pr. ton cement). Den samlede påvirkning af en ændring afhænger naturligvis af alle disse faktorer.

En forståelse af alle tre er afgørende for at formulere en køreplan for forandring (afsnit 3.2), der reelt kan nå absolut nul emissioner. Det samme gælder forskningsdagsordener, hvor der har været mere forsknings- og politisk interesse i at reducere madspild end i at reducere kødforbruget, på trods af at førstnævnte bidrager en

anslået 1-2% til emissioner, og sidstnævnte anslået

50 %. Data om, hvordan tingene sker i øjeblikket, kan også understøtte forandring ved at identificere 'lyspunkter', hvor god praksis allerede finder sted.

Ser fremad

Det er dog ikke nok at forstå nutiden.

af de beslutninger, der vil påvirke emissionerne i 2050, skal

træffes lang tid i forvejen, såsom design af bygninger, investering i energiinfrastruktur og bilfabrikker (afsnit 1). Disse beslutninger bør ideelt set være robuste over for en bred vifte af mulige fremtidige resultater, såsom hurtigere eller langsommere end forventet udrulning af CO2-fri energiforsyning eller højere eller lavere belastningskrav til bygninger i brug. Når dette ikke gøres



Nå, resultatet er den situation, der er beskrevet i afsnit 2.3,

hvor strukturelle designs rutinemæssigt er overdimensionerede, hvilket fører til proportionalt for store kulstofemissioner. I modsætning hertil har det vist sig, at et oprindeligt mindre design der giver mulighed for at tilføje forstærkning til bjælker i fremtiden, om nødvendigt, ville føre til lavere levetidsemissioner.

Der er mange mulige veje til nul emissioner i 2050, og forskellige rapporter kan nå frem til meget forskellige konklusioner ved at fokusere på forskellige scenarier. For at skabe klarhed over vores muligheder for at nå det absolutte nulpunkt, er vi nødt til at sammenligne forskellige forslag på et fælles grundlag og fremhæve de forskellige udgangsansatgelser, der fører til forskellige konklusioner (se bokshistorien for et eksempel).

Få bedre information

Trods disse vigtige roller, som information om vores ressourceforbrug spiller, er de data, vi har, uensartede og usammenhængende. Der er to grundlæggende måder, hvorpå situationen kan forbedres: at indsamle bedre data og at gøre det smartere brug af de begrænsede data, vi har.

Den britiske regerings ressource- og affaldsstrategi har anerkendt, at "manglen på pålidelige data om tilgængeligheden af sekundære materialer nævnes af industrien som en hindring for deres anvendelse", og foreslår en national materialedatabase for at løse dette problem ved at levere "omfattende data om tilgængeligheden af rå- og sekundære materialer, herunder kemikalier, på tværs af økonomien til industrien og den offentlige sektor, og ved at modellere scenarier omkring materialetilgængelighed". Office for National Statistics leder den indledende udvikling af en sådan database. Ud over officiel statistik som denne er der en stor mængde bevismateriale indeholdt i akademisk arbejde, som i øjeblikket er vanskeligt tilgængeligt. Bestræbelser på at fremme åben videnskabspraksis inden for områder som industriel økologi begynder at forbedre opdagelsen og genbrugen af denne viden.

Der vil også være behov for bedre information internt og på tværs af forsyningskæder, men der vil være udfordringer, der vil have skal overvindes, før dette kan opnås. Den første

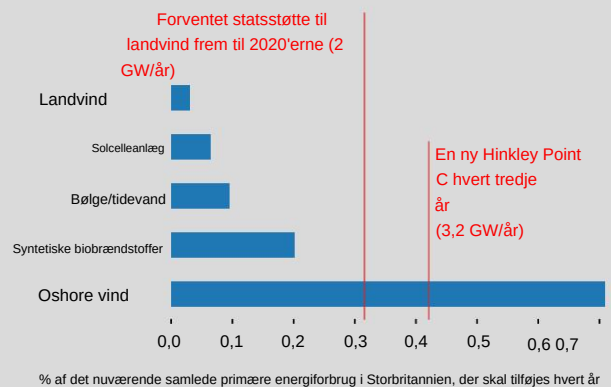
Hvorfor er alle planer for nul-emissioner ikke ens?

Adskillige rapporter har præsenteret scenarier for, hvordan vi kan opnå netto-nul-udledning i 2050, såsom Center for Alternative Technologys rapport "Zero Carbon Britain". I modsætning til behovet for at reducere det absolutte energiforbrug beskrevet i denne rapport, konkluderer de i stedet, at "industriel energiforbrug forventes at forblive på samme niveau som det nuværende". Hvordan er det muligt at nå frem til en så forskellig konklusion på det samme spørgsmål?

Det er lettere at se forskellene ved at se på de forskellige antagelser om energisystemet. Figuren til højre viser de udrulningsrater, der er implicitte i deres scenarie, sammen med nogle referencepunkter for at give kontekst. Rapporten om Zero Carbon Britain har langt mere optimistiske antagelser om udrulningsraterne for vedvarende produktionsteknologier, især teknologier i meget tidlige stadier såsom produktion af flydende brændstoffer fra biomasse – hvilket endnu ikke er blevet bevist i kommerciel skala – og bølge- og tidevandsproduktion.

De antagne udbygningsrater for havvind er også høje, hvilket kræver en fordobling af den installationshastighed, der er planlagt i regeringens støtteplaner frem til 2020'erne.

Figur 3.3: Stigningsrater i "Zero Carbon Britain"



er informationsindsamling: det er stadig ikke normal praksis for leverandører at indsamle information om alle aspekter af deres fremstillingsproces. For det andet deler virksomheder indsamlede data med resten af kæden i stedet for at opbevare dem i siloer. Nuværende virksomhedspraksis betyder, at information ofte ikke deles, selv med forskellige grupper inden for samme organisation, endsi- gende med "udenforstående". I informationsalderen har industrien været lukket for informationsudstrømning. Dette kan tilskrives gode grunde, men opnåelsen af det absolutte nulpunkt kræver, muligvis frem for alt, viljen til at samarbejde. Den sidste udfordring er analyse af dataene og at give dem mening. Indsamling, lagring, behandling og præsentation af data er en energikrævende og dyr opgave, derfor har de fleste organisationer i øjeblikket ikke appetitten til at påtage sig dette uden dokumenteret

afkast.

Digitale værktøjer kan potentielt bidrage til at muliggøre denne position. En universel og global tilgang til IP-lovgivning og sporing af information ved hjælp af teknologier som blockchain kan i høj grad øge organisationers tillid til at åbne deres døre og dele mere af deres information.

Ved at gøre dette er det muligt at reducere dobbeltarbejde dramatisk, samtidig med at synligheden af ressourceforbruget forbedres. Dette kan give virksomheder mulighed for at træffe langsigtede strategiske beslutninger, der fører til højere rentabilitet, samtidig med at de reducerer energiforbruget og CO₂-produktionen.

Hovedbudskab: God information er afgørende for forandringer i individuel adfærd, forretningsdrift og for at understøtte regeringens handlinger, men der er udfordringer at overvinde med at indsamle og kommunikere de nødvendige oplysninger effektivt for at understøtte beslutninger og påvirke adfærd.

4. Mulighed

Hovedbudskab: Absolut nul kræver samfundsmæssige forandringer. Dette vil give muligheder for vækst inden for erhvervsliv, uddannelse og forskning, forvaltning og industriel strategi. For at opnå nul emissioner skal vi kun forfølge de rigtige muligheder og begrænse aktiviteter, der ikke længere er forenelige med et nul-emissionssamfund.

4.1 Muligheder i erhvervslivet:

Denne rapport har afsløret et overvældende innovationspotentiale for virksomheder – men ikke inden for det område, der dominerer den aktuelle diskussion om at afbøde klimaændringer. Kulstofopsamling og -lagring eller -udnyttelse og "brintøkonomien" er vigtige udviklingsmuligheder og kan være betydelige efter 2050, men vil ikke spille nogen væsentlig rolle i nationale eller globale emissionsreduktioner inden 2050, fordi implementering i meningsfuld skala vil tage for lang tid. I stedet kræver det en massiv udvidelse af vind- og solenergiproduktion at tage målet om det absolutte nulpunkt alvorligt, sammen med den infrastruktur, der kræves for at installere, administrere og levere denne energi, og de frugtbare forsyningskæder for materialeudvinding, produktion, byggeri og fremstilling.

De vigtigste innovationsmuligheder, der afsløres i denne rapport, handler ikke om, hvordan vi genererer energi, men hvordan vi bruger den. At nå målet om det absolutte nulpunkt kræver tilpasning til at bruge omkring 60 % af den energi, vi forbruger i dag, hvilket uden innovation vil kræve tilbageholdenhed. Afsnit 2 i rapporten har dog afsløret et enormt rum for forretningsinnovation og vækst i at udvide den fordel, vi får fra energiforbruget. I det seneste århundrede er vores økonomi vokset baseret på en antagelse om stort set ubegrænset energiforsyning uden konsekvenser.

Ikke overraskende har dette ført til ekstremt ineffektiv udnyttelse – for eksempel med biler, der vejer omkring 12 gange mere end personerne i dem. Jo hurtigere Storbritannien forpligter sig til at nå sit juridisk bindende mål, desto større fordel vil det få fra mulighederne for forretningsinnovation. Der er ingen tvivl om, at nogle etablerede virksomheder, såsom fossilbrændstofindustrien, vil falde, og uundgåeligt bruger de i øjeblikket flest penge på at lobbye regeringen for at hævde, at de er en del af løsningen. Dette er usandsynligt.

I stedet afhænger fremtidig vækst i Storbritannien af at udnytte de muligheder, der skabes af begrænsningen af det absolutte nulpunkt.

For eksempel:

- Al nuværende luftfartsaktivitet vil blive udfaset inden for 30 år, hvilket skaber en ekstraordinær mulighed for andre former for international kommunikation (for eksempel ved hjælp af teknologierne fra nutidens spil).

industrien til at transformere nutidens bagudskuende videokonferencer), for rejse- og fritidsbranchen til at udvide mere lokale ferier og for udviklingen inden for ikke-emitterende mellemklassetransport såsom elektriske tog og busser

- Markederne for elbiler, elektrisk opvarmning i alle skalaer og temperaturer, elmotorer i alle skalaer, renovering af bygninger og termisk styring vil helt sikkert vokse med hastigheder, der er langt hurtigere end i den seneste tid. Elbiler udgør en lille del af det nye salg i dag, men under den nuværende regulering vil de i 2040 have erobret 100 % af markedet. I betragtning af den samlede energiforsyningsbegrænsning ved det absolutte nulpunkt er det klare bevis i figur 2.6, at det samlede marked enten vil skrumpe eller skifte hurtigt mod mindre køretøjer – dette er et frugtbart og underbefolket område.
- Produktion af cement og højovnsstål vil være ulovlig inden for 30 år, men vores efterspørgsel efter byggeri og fremstilling vil fortsætte. For at imødekomme denne efterspørgsel skal vores forsyning af bulkmaterialer omdannes, og der er et stort innovationspotentiale for ikke-emitterende cementerstatninger, for teknologier til at understøtte genbrug af stål af høj kvalitet og inden for "materialeeffektivitet": at bruge halvdelen af materialet pr. produkt og holde produkterne i brug i dobbelt så lang tid.

Ud over 2050-målet om det absolutte nulpunkt kan teknologier, der findes i tidlige udviklingsstadier i dag, ekspandere til værdifulde forretningsstrømme. Disse omfatter:

- Kulstofopsamling og -lagring eller -udnyttelse anvendt i kraftværker med fossile brændstoffer, stål- eller cementproduktion.
- "Brintøkonomien", når der er ledig kapacitet i forsyningen af ikke-emitterende elektricitet
- Andre former for elektrisk transport, herunder skibsfart og luftfart

100%-målet i klimaloven skaber en ekstraordinær mulighed for britiske virksomheder til at udvikle de varer og tjenester, der vil danne grundlag for en fremtidig global økonomi. De største kommercielle muligheder er dog ikke banebrydende, men trinvis udviklinger fra nutidens teknologier.

4.2 Muligheder inden for velfærd og uddannelse

Dagens elever, der starter på gymnasiet, vil være 43 år gamle i 2050. I den alder vil de have lederstillinger, så det oplagte spørgsmål er, hvilke færdigheder de bør udvikle nu og i deres efterfølgende videregående uddannelser for at understøtte deres beslutningstagningsevner i en meget anderledes fremtidig verden? Uddannelsens arv er helt sikkert at vide, at det er kvaliteten af de spørgsmål, man er i stand til at stille, der vil føre til succes. At stille de rigtige spørgsmål er et tegn på dybdegående uddannelse, mens det er en langt nemmere opgave at besvare disse spørgsmål, selvom der er behov for forskning.

Hvordan går vi fra at besvare spørgsmål som en grundlæggende del af uddannelse til at stille spørgsmål som kendetegnende for en nødvendig uddannelse i fremtidig usikkerhed? Klimaforandringer giver os netop denne mulighed. Nogle af de nuværende pensum i ungdomsuddannelserne vil være irrelevante i fremtiden, og der vil være nye færdigheder, som skolebørn vil ...

kræver. Det samme gælder på universiteterne, både inden for undervisning og forskning, hvor der skal skelnes klart mellem afbødende handlinger, der kan implementeres i dag gennem valgt begrænsning, og innovationer, der kan lette udfordringen med begrænsning i fremtiden. Førstnævnte indebærer vanskelige beslutninger, mens sidstnævnte indebærer reelle muligheder.

Med udgangspunkt i de vanskelige beslutninger bør et uddannelsesmiljø fastsætte en tidslinje for de handlinger, der skal træffes

af menneskeheden for at sikre, at vi når vores mål for CO₂-reduktion inden 2050. Planer kan ikke blot relatere sig til handlinger. De skal også relatere sig til tidsplanen for sådanne handlinger, sådan som ethvert Gantt-diagram gør. Ved at arbejde baglæns fra 2050 og sekventielt udarbejde rækkefølgen og timingen for, hvornår vigtige afbødende handlinger skal træffes, kan der etableres en køreplan for den nødvendige tilbageholdenhed. På tværs af ungdomsskolesystemet er denne køreplan afgørende for at fremkalde de spørgsmål, der uundgåeligt vil komme fra skolebørnene. Dette vil muliggøre en undersøgelse af reel forandring i tankegangen hos dem, der bliver nødt til at omfavne forandringer mere end nogensinde før senere i deres liv. Store spørgsmål vil dukke op, såsom: vil forbrændingsmotorer forsvinde, vil fly forsvinde, vil kød- og mejerilandbrug forsvinde, og vil vi være nødt til at stoppe med at bygge ting? Ved at give skolebørn mulighed for at indse, at det er passende at stille de store spørgsmål, vil vi muliggøre, at forandringer omfavnes gennem uddannelse. Tidspunktet for ændringen bør føre til spørgsmål om overgangen til elektrificering eller afvejningerne mellem energi og arbejdskraft i forbindelse med levering af tjenester på tværs af en bred vifte af økonomiske aktiviteter, for eksempel. Hvad er konsekvenserne for forbrug eller ejerskab i et samfund i forandring, og hvordan kan vi sikre, at materialeforbruget ned til det fineste

Er granularitet alt sammen indkapslet i cirkularitet?

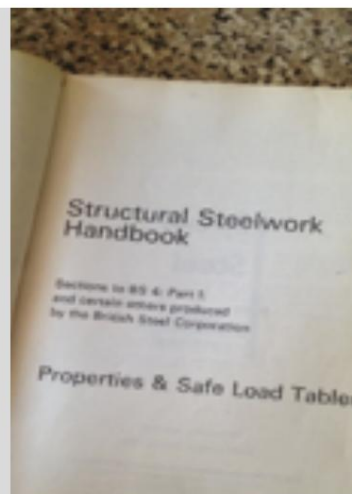
På tværs af uddannelsessystemet bør vi gribe muligheden for, at den næste generation kan vokse op med 'bedste praksis': fra den mad, der er tilgængelig i skolerne, til den måde,



Ændring af bygningsdesignpraksis gennem uddannelse i 1970'erne

I 1970'erne så British Steel en mulighed for at udvide deres marked for stålkonstruktioner ved at overtale britiske kunder og byggeforsyningskæden til at skifte fra betonkonstruktioner (som stadig er mere almindelige i mange europæiske lande selv i dag) til stålkonstruktioner, som den illustreret på side 35. I stedet for at søge statsstøtte til at subsidiere eller lovgive for at støtte denne ændring, udviklede de i stedet undervisningsmateriale af høj kvalitet og støttede udviklingen af nye kurser i alle større civilingeniøruddannelser om design med stål. Som et resultat var den næste generation af færdiguddannede civilingeniører, der trådte ind i faget, rustet til at bruge mere stål og forventede, at det ville blive mere normal praksis.

Dette antyder en mulighed for at udvikle undervisningsmateriale, der omkonfigurerer samfundet, så det kan anvende nye tilgange til at trives i en CO2-fri økonomi ved at ændre den måde, vi lever og arbejder på.



børns ankomst i skole, til den måde, skolebygninger bruges på. Alle skoler kunne straks skifte til at tilbyde kødfri måltider – hvilket reducerer emissioner og fremmer sund kost. Eksisterende bestræbelser på at ændre rejsevaner med det formål at undgå lokal luftforurening omkring skoleporte kan udvides til at støtte forældre og børn i at transportere CO2-fattigt til skole, hvor det er muligt. Mange skoler føler allerede behov for at holde varmetemperaturerne lave i et forsøg på at skabe balance i stærkt begrænsede budgetter, hvilket er en bivirkning, der kunne standardiseres på tværs af

system til at hjælpe med at etablere normaliteten af lavere energi-, lavere temperatur-opvarmningssætpunkter.

Hvis vi ser ud over behovet for denne form for begrænsning på kort sigt, er der enorme muligheder inden for uddannelse, som vi kunne gribe fat i nu for at sikre, at vi, når den smertefulde periode med afbødning nærmer sig sin afslutning, har en uddannet befolkning, der er klar til at drage fordel af nul-kulstof-æraen. Vi har ikke den luksus at have tid til at vente på, at kandidater, der ved noget om fremtidige muligheder, dukker op. Vi er nødt til at udnytte vores studerendes kreativitet, intelligens og ideer, før de er færdige med deres uddannelse. Men hvilke innovationer bør vi undervise i?

Vi forsker stadig i dem, og forskning tager tid.

En potentiel løsning på denne uønskede tidsafhængighed er Vertikalt Integrerede Projekter (VIP), et koncept udviklet af Georgia Tech, og som nu også fungerer med succes på University of Strathclyde i Storbritannien.

I bund og grund er bachelorstuderende på tværs af alle studieår involveret i store tværfaglige forskningsprojekter, der hver især er rettet mod et langsigtet komplekst forskningsspørgsmål. Strathclyde sikrer, at FN's 17 verdensmål for bæredygtig udvikling er centrale for deres VIP'er. På denne måde lærer bachelorstuderende ikke kun nøglefærdigheder til fremtiden, men de skaber faktisk selv viden for alle på samme tid. Det er kombinationen af empowerment, tværfaglighed, enorme forskningsspørgsmål, selvtillid og plads til at udforske uden frygt for fiasko, der bringer dette koncept til live.

I en æra med ekstraordinære forandringer og lige så ekstraordinære muligheder føles det rigtigt og passende, at de mest frugtbare hjerner udnyttes og beriges på en sådan måde.

Der er spørgsmål, som tilbageholdenhedens æra rejser vedrørende forskning og dens finansiering på universiteter og i virksomheder. Er det for eksempel rigtigt at finansiere forskning med offentlige midler, herunder teknologiske udviklinger, som vi ved ikke er i overensstemmelse med de 17 FN's bæredygtigheds mål? Eksempler kan omfatte forsøg på at presse effektivitetsgevinster ud i det 20. århundredes teknologier eller forskning i produkter, der er afhængige af knappe materialer.

Skoler, universiteter og finansieringsorganer har brug for modige beslutninger, hvis vi skal stimulere uddannelse og handling i retning af hurtig afbødning efterfulgt af innovative muligheder. På tværs af uddannelse og forskning fremhæves følgende vigtige områder i denne rapport:

- Teknologier og deres begrænsninger i effektiv udnyttelse af elmotorer og elektrisk opvarmning
- Afvejningerne mellem energi og arbejdskraft i levering af tjenester på tværs af alle økonomiske sektorer aktiviteter
- Forståelse af velfærd afhængig af selvrealisering snarere end forbrug eller ejerskab
- Maksimering af værdien af sekundære materialer og realiteterne omkring reduktion/genbrug/genbrug/"cirkularitet" osv.
- Vedvarende produktion og systemet for dens effektive bruge.

Mulighederne inden for uddannelse spænder fra at forberede sig på den tilbageholdenhed, der kræves for at opnå det absolutte nulpunkt, til at forberede sig på den langsigtede transformation af velstand efter 2050. Hvordan kunne en verden se ud uden cement, forbrændingsmotorer eller fly? Vi er nødt til at uddanne eleverne til denne nye virkelighed og omfavne muligheden snarere end truslen, som denne virkelighed tilbyder.

4.3 Muligheder inden for styring

De Olympiske Lege er et af de største regeringsprojekter, som er blevet leveret til tiden og inden for budgettet.

Det var en stor succes og en kilde til national stolthed. Der er paralleller mellem at være vært for de Olympiske Lege i 2012 og at realisere det absolutte nulpunkt. Begge forpligtelser blev givet på en verdensscene, hvor manglende levering ville resultere i national forlegenhed; begge projekter kræver samarbejde mellem flere regeringsafdelinger, industrien og offentligheden; og begge kræver, at leveringsprocesser og -strukturer bygges fra bunden. Vi formåede at overvinde disse udfordringer for OL, men at realisere det absolutte nulpunkt har yderligere udfordringer.

For at nå vores emissionsmål skal vi opretholde momentum over en længere periode end for OL.

Vi er også nødt til at overveje livet efter 2050. Hvad er arven fra projektet om netto-nul-emissioner? Den olympiske arv er blevet kritiseret for ikke at levere den rette mængde, så vi skal gøre det bedre denne gang for at sikre, at samfundet kan trives i en verden med nul emissioner efter 2050. Da vi var vært for OL i 2012, kunne vi trække på erfaringerne fra de historiske olympiske lege som grundlag for beslutninger, men intet land har før nået et nul-emissionsmål, og der er ingen præcedens for os at følge. Endelig skabte udviklingen i OL i 2012 vækst i leveringen af ny og forbedret infrastruktur og tjenester. Opfyldelse af målene om netto-nul-emissioner vil generere vækst i nogle brancher, men vil også kræve tilbagegang i andre. Dette vil sandsynligvis blive mødt med modstand, da de, der drager fordel af status quo, modsætter sig forandringer.

De Olympiske Lege i London fremhævede følgende vigtige erfaringer, der kunne overføres til emissionsmål:

- Dann et ansvarligt organ i regeringen
- Begræns innovation til videnhuller for at reducere risiko
- Oprethold en samlet tværpolitisk vision
- Hav et beskyttet og realistisk budget
- Investér i programstyring og -levering med disciplin i forhold til tid og omfangsændringer
- Styrk medarbejderne med de rette færdigheder og historik til at levere resultater i henhold til klare ansvarsområder
- Sikre ansvarlighed med kontrol og sikkerhed gives, når risikoen er identificeret.

Dette afsnit forsøger at udforske de første tre af disse lektioner, de mest relevante for Absolute Zero-forpligtelsen.

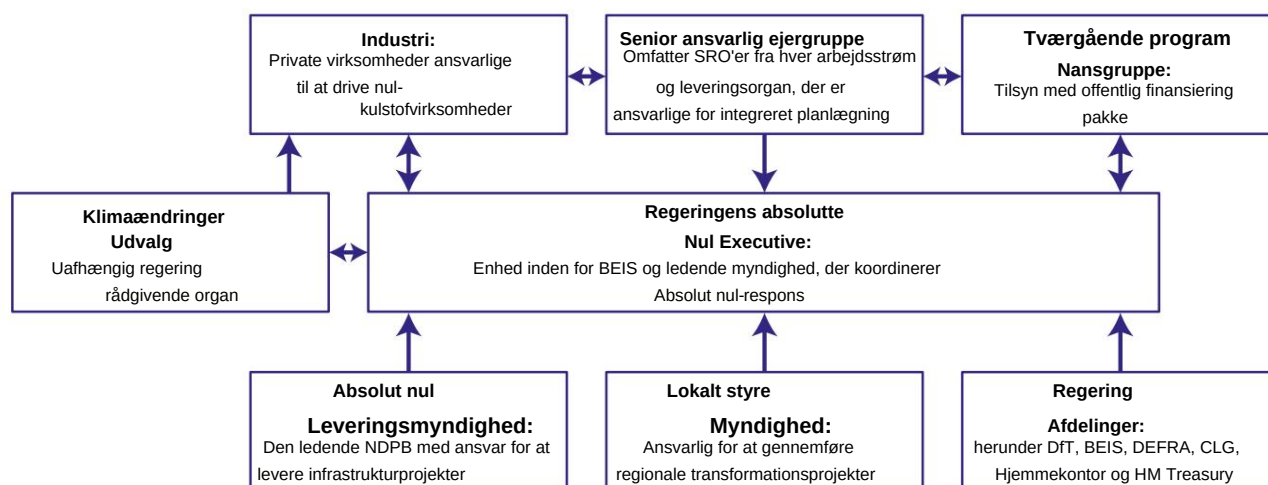
Ansvarlig instans i regeringen:

Ved OL i 2012 oprettede et udøvende, ikke-ministerielt offentligt organ (NDPB) kaldet Olympic Delivery Authority (ODA) blev etableret for at levere infrastrukturen og steder, der kræves til OL. Samtidig blev Londons organisationskomité for de Olympiske og Paralympiske Lege (LOCOG) etableret som et privat selskab med begrænset ansvar for at finansiere og afholde legene. Regeringen oprettede den olympiske bestyrelse (GOE) under Ministeriet for Kultur, Medier og Sport.

GOE var ansvarlig for andre elementer af spillene, såsom transport og sikkerhed, samt at føre tilsyn med ODA og LOCOG. Selvom forvaltningsstrukturerne blev anset for at være komplekse, er det blevet rapporteret, at de muliggjorde hurtig beslutningstagning og sikrede, at folk forblev engagerede gennem hele leveringsprocessen.



Figur 4.1: Olympisk-inspireret forvaltningsstruktur for den britiske klimaberedskabsindsats:



4.1 giver et eksempel på, hvordan denne struktur kan anvendes til at opnå det absolutte nulpunkt. Den foreslåede regering Absolute Zero Executive ville være endnu mere kritisk, da

Det ville være nødvendigt at koordinere flere brancher og organisationer i stedet for blot to leveringsorganer, som det var tilfældet ved OL i 2012. Den forvaltningsstruktur, der er foreslået i figur 4.1, ville muliggøre hurtig beslutningstagning og ansvarlighed i forhold til at nå delmål, hvilket er afgørende, hvis vi skal nå nul-emissionsmålene for 2050.

Begræns innovation:

Den olympiske regering begrænsede bevidst innovation for at udfylde huller i viden. Dette træk blev betragtet som kontraintuitivt, men vellykket.

Ved udelukkende at stole på gennemprøvede teknologier blev risikoen for fiasko reduceret og fristelsen til at bruge legene til at fremvise risikabel innovation undgik. Selvom OL ikke introducerede nye måder at gøre tingene på, krævede det, at eksisterende aktiviteter blev opskaleret for at imødekomme en hidtil uset efterspørgsel.

Som Jeremy Beeton, generaldirektør for Government Olympic Executive, forklarer: "Det var en helt ny forretningsmodel for London." Denne opskalering af gennemprøvede teknologier og systemer blev set som en risiko i sig selv. Denne lektie bør overføres til opgaven med at nå nul-emissionsmålene for 2050. Vi har i denne rapport identificeret 'lyspunkter', hvor der findes bedste praksis, og hvor den kan opskaleres. Hvis vi anvender den olympiske tilgang, er dette en tilstrækkelig risiko, og yderligere innovation bør begrænses. Når det er sagt, har vi i øjeblikket ikke alle svarene på overgangen til et netto-nul-samfund, og en vis innovation vil være nødvendig, men den skal gribes an med forsigtighed.

Tværpolitisk vision:

Gennemførelsen af De Olympiske Lege i 2012 blev understøttet af en samlet tværpolitisk vision, som blev opretholdt gennem regelmæssige statusrapporter. Dette muliggjorde stabilitet gennem regeringsskift, hvilket gjorde det muligt for projektet at opretholde momentum. Storbritanniens tilgang til klimaforandringer har i øjeblikket ikke en samlet tværpolitisk vision. For eksempel foreslår Labourpartiet at flytte nul-emissionsmålene til 2030. Mens partierne diskuterer mål og delmål, bliver der ikke taget handling, og vi sakker yderligere bagud på rejsen mod nul-emissioner. Det er afgørende, at regeringen skaber en samlet tværpolitisk vision for at efterligne succesen med OL i 2012, som var i stand til at skabe klare roller og ansvarsområder, der fremmede samarbejde om problemløsning, ikke skyldsskifte.

Hvis vi skal lære af vores tidligere succeser, er det mere sandsynligt, at målet om netto nul kan nås gennem etableringen af regeringens absolutte nulpunkt.

Den udøvende magt og den tilhørende leveringsmyndighed med tværpolitisk støtte. Den udøvende magt bør fastlægge en strategi, der er realistisk og risikoavers, uden overdreven afhængighed af innovation.

4.4 Muligheder for industriel strategi i Storbritannien

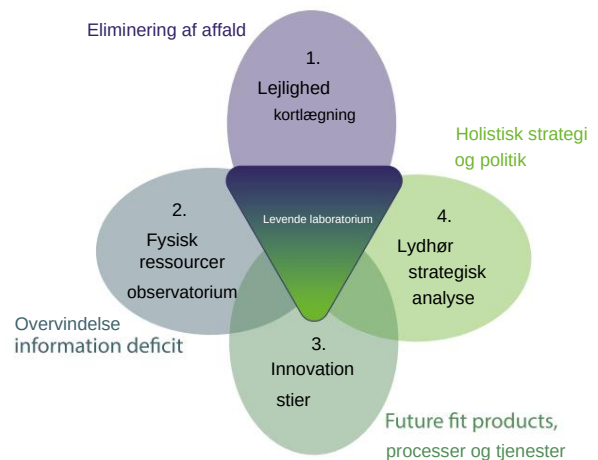
Med et lovmæssigt mål, nu sat af den britiske regering, om at opnå netto-nuludledning inden 2050, udvikler britiske virksomheder organisatoriske strategier for at sikre, at de vil trives i et nuludledningslandskab. Denne rapport har vist, hvordan ressourceeffektivitet i centrum for industriel strategi kan give virksomheder mulighed for at trives, men dette kræver betydelige ændringer i de produkter, produktionsprocesser og forsyningskædesystemer, der i øjeblikket udgør industrisektoren.

Den britiske regering har investeret 5 millioner pund i det britiske FIRES-forskningsprogram, der samler akademikere fra seks universiteter, der har skrevet denne rapport, med virksomheder på tværs af forsyningskæden i et 'levende laboratorium'. De industrielle partnere stiller det akademiske forskerteam strategiske udfordringer og tester nye løsninger i praksis.

UK FIRES-forskning vil støtte virksomheder i at udvikle industrielle strategier for at opnå nul emissioner på fire nøgleområder illustreret i figur 4.2.

1. Mulighedskortlægning vil identificere nye design- og fremstillingsmetoder, der forbedrer eksisterende bedste praksis. Der vil blive udviklet og kommercialiseret softwareværktøjer til at opregne alle muligheder for design og levering af ressourceintensive varer med nutidens teknologier.
2. Værktøjerne fra de seneste fremskridt inden for datavidenskab vil være anvendt i et nyt ressourceobservatorium for at give indsigt i Storbritanniens ressourceforbrug med den højeste opløsning, med nye målinger, scenarier og søgeresultater
Værktøjer, der bruges til at identificere muligheder for værdifuld innovation og effektivitetsgevinster. Disse værktøjer vil give UK FIRES-branchepartnere fremsynethed i beslutningstagningen.
3. Gennem specifikke casestudier af proces-, produkt- og serviceinnovation vil det britiske FIRES-konsortium søge at definere de innovationsveje, hvorigennem de nye praksisser for ressourceeffektivitet kan danne grundlag for blomstrende britiske virksomheder. Living Labs industrielle partnere vil blive støttet i at udnytte disse muligheder i praksis.
4. For at understøtte holistiske industrielle strategier og forsyningskæder vil britiske FIRES-forskere udvikle responsive strategiske analyseværktøjer. Living Labs industrielle partnere kan derefter anvende disse resultater gennem hele generationen.
af nye forretningsmodeller i samarbejde med Storbritannien
FIRES Politikforkæmper.

Figur 4.2: Strukturen i det britiske FIRES-program



Resultaterne fra det britiske FIRES Living Lab-samarbejde vil blive offentliggjort i kvartalsrapporter, der stilles til rådighed for regeringer og industri, for at give pålidelige oplysninger, der kan informere udviklingen af deres industrielle strategier for netto-nul-udledning. Fokustemaer for fremtidige Living Lab-rapporter er nu skitseret.

UK FIRES-forbindelser

UK FIRES sigter mod at levere data, værktøjer, erfaring og analyser for at støtte sine partnervirksomheder i at specificere nye forretningsmodeller, sprede innovation, give holistisk fremsynethed til nye muligheder og forbedre bedste praksis, i takt med at de forfølger ressourceeffektivitet med henblik på en industriel strategi for netto-nul-udledning.

Medlemmer af UK FIRES kan få adgang til ressourcerne fra de 5 millioner pund program gennem:

- Kvartalsmøder i Living Lab, hvor medlemmer på tværs af forsyningskæderne for bulkmaterialer specificerer målrettede udfordringer for fremtidigt arbejde, støtter nuværende aktiviteter og giver feedback på anvendelsen af programindsigter i praksis.
- Tidlig adgang til nye analyser af strategiske muligheder
- Delte eller dedikerede ph.d.-studerende, der anvender den kollektive indsigt fra det britiske FIRES-team på specifikke områder kommercielle sammenhænge
- Pilottest af nye værktøjer udviklet i forskningen program
- Udformning af dagsordenen og deltagelse i den årlige Det britiske FIRES-forum for ressourceeffektivitet.

For mere information kontakt info@ukfires.org.uk

Noter til figurene

Figur 1.1: Hvis vi antager, at der er behov for yderligere 400 TWh/år inden 2050, som skal forsynes med havvind, skal vi have 115 GW havvindkapacitet i drift inden 2050 (forudsat en omtrentlig kapacitetsfaktor på 40 % for havvind). Crown Estate anslår, at

Projekter med havbundsrettigheder, der tildeles i 2021, vil blive operationelle inden 2030, så alle projekter, der er nødvendige for 2050, skal påbegyndes inden 2040. Selvom den nuværende kapacitet er 9 GW, er der yderligere 25 GW allerede i støbeskeen. Derfor skal nye projekter etableres og bygges med en hastighed på 4,5 GW/år i de næste to årtier.

Figur 1.3: Data fra Det Internationale Energiagentur (IEA, 2018) med data om CCS-installationer på kraftværker fra den olie- og gasfinansierede pro-CCS-lobby, Globalt CCS-institut.

Figur 1.4: Denne analyse af Václav Smil (2014) ser på den globale udbredelse af de tre største fossile brændstoffer i forhold til den samlede globale energiefteerspørgsel på daværende tidspunkt. Der er sket nogle hurtigere overgange i de enkelte lande, som vist i bokshistorien på side 3.

Figur 1.5: Dataene i denne figur stammer fra en undersøgelse af akademiske rapporter foretaget af Gross et al. (2018) om introduktionen af en række nye teknologier - som generelt viste, at ændringer inden for energiteknologi er blandt de langsomste til at nå fuld udrulning.

Figur 1.6: Sektorfordeling af den britiske energiefteerspørgsel fra DUKES (2019); historik for indenlandsk temperatur i Storbritannien fra officielle statistikker (2014); europæisk bilvægt (og lignende tendenser for alle andre regioner) fra Global Fuel Economy Initiative, et partnerskab med Det Internationale Energiagentur og andre.

Figur 1.7-1.8: Alle konstrueret ved hjælp af data fra DUKES (2019). Bemærk, at der er mange måder at beregne ækvivalensen af brændstoffer på - typisk anvendes enhederne "Mega-tons olieækvivalent", men dette er ikke indlysende, når man sammenligner primær elektricitet (nuklear eller vedvarende elektricitet), som ikke er resultatet af konvertering i et kraftværk. Vi har forsøgt at være konsekvente i rapporteringen af Mtoe-ækvivalensen af den samlede britiske energiefteerspørgsel.

Figur 1.9: Konstrueret med årlige data om elektricitet leveret i Storbritannien fra DUKES (2019). Elektricitet genereret via ikke-emitterende kilder er vist som stablede linjer, mens elektricitet genereret fra kul, gas og olie er plottet i en separat linje.

Figur 1.10: Omkostningstallene repræsenterer det vægtede gennemsnit af de niveauerede elomkostninger for idriftsatte sol- og landvindprojekter i Storbritannien og blev indhentet fra IRENA (2018).

For solcelleproduktion blev kun omkostningstal efter 2010 rapporteret. Tallene blev omregnet fra amerikanske dollars til pund sterling ved hjælp af årlige gennemsnitlige valutakurser. Effekttæthedspunkterne for landbaseret vind blev beregnet ved hjælp af effekttætheden for 61 vindmølleparker, der blev idriftsat mellem 1992 og 2007, udarbejdet af Mackay (2009). Disse datapunkter blev gennemsnittet pr. idriftsættelsesår ved hjælp af installeret kapacitet som gennemsnitsvægt. Den installerede kapacitet og idriftsættelsesdatoerne blev indhentet fra Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2019). Effekttæthedspunkterne for solcelleanlæg blev estimeret ved hjælp af de bedste tilgængelige celleeffektivitetsdata leveret af National Renewable Energy Laboratory (2019) for multikrystallinske Si-celler i forbindelse med Storbritanniens årlige solindstrålingsdata fra Photovoltaic Geographical Information System (2017) og et ydelsesforhold på 84 % indhentet fra National Renewable Energy Laboratory (2013).

Figur 1.11: Dette diagram blev konstrueret ved hjælp af globale energidata fra 2005 leveret af Det Internationale Energiagentur og flere kilder til at estimere allokeringen af energi til enheder og "passive systemer" - det udstyr (såsom en bil eller et hus), hvor den endelige form for energi (typisk mekanisk arbejde eller varme) udveksles for en tjeneste. Diagrammet er fra Cullen et al. (2010), som har en omfattende supplerende informationsfil, der giver alle detaljer om estimerne. Det er i øjeblikket vanskeligt at opdatere denne form for analyse - og et mål for det britiske FIRES-forskningsprogram er at bruge de nye teknikker til data

Videnskab for at gøre dette lettere - men vi antager, at

Andelen af energiforbruget har været nogenlunde den samme fra 2005 til i dag.

Figur 1.12: Data taget fra Haberl et al. (2007), med forbehold for usikkerhed på grund af definitioner og behovet for estimering af umålelige data.

Figur 1.13: Alle værdier repræsenterer effektivitetsgrader i den "virkelige verden" for konverteringsenheder. Effektiviteten af elektriske varmeapparater, lys og elektroniske enheder blev beregnet af Cullen og Allwood (2010). Effektiviteten af opladning af elektriske batterier gælder for opladning af vejkmøtøjer og blev beregnet fra Apostolaki-Iosifidou et al. (2017). Effektiviteten af varmepumper er gennemsnittet af alle de værdier, der er rapporteret af Shapiro og Puttagunta (2016), som kvantificerede ydelseskoefficienten for disse enheder under brug i beboelsesejendomme. De resterende værdier blev beregnet af Paoli og Cullen (2019).

Figur 1.14: Figur 1.14: Dette Sankey-diagram blev opnået ved hjælp af data om britisk energiforbrug for 2018 fra National Statistics (2018) og konverteringsfaktorerne i figur 1.13.

Dataene er opdelt efter energitype og sektor.

Den samlede elforbrug blev skaleret for at tage højde for befolkningstilvæksten ved hjælp af forudsigelser fra National Statistics (2019) og distributionstabene fra OECD/

IEA (2018). Ud over effektivitetsgraderne i figur 1.13 er effektiviteten af opladning af elbilbatterier taget fra Apostolaki-Iosifidou et al. (2017).

Figur 1.15: Denne analyse, der bygger på energidiagrammet i figur 1.11, blev udviklet for at skabe klarhed til IPCC's 5. vurderingsrapport og er baseret på globale Emissionsdata for 2010 taget fra EU's EDGAR

database over globale emissioner. Den oprindelige analyse blev offentliggjort som Bajzelj et al. (2013), men er blevet ændret her for at tydeliggøre forskellen mellem emissioner, der opstår, når udstyr (biler, kedler, lys) bruges, og dem, der opstår i industrien, når der fremstilles udstyr, der holder i mere end et år. Det britiske FIRES-program beskæftiger sig i høj grad med disse industrielle emissioner, så det er af afgørende betydning at afklare, hvordan lagerbeholdningen af varer i brug (og dermed deres behov for energitilførsel) udvikler sig over tid, for at forstå, hvordan man udvikler en industriel strategi, der er kompatibel med

Absolut nul.

Figur 2.1: Denne figur er en opsummering af den analyse, der førte til til figur 2.2, 2.4, 2.11 og 2.19.

Figur 2.2: Dagens værdier for energiforbrug i bygninger er hentet fra britisk energistatistik (HM Government, 2019). Værdierne i den anden kolonne blev beregnet ved hjælp af den metode, der er beskrevet i noterne til figur 1.13, og de effektivitetsværdier, der er estimeret af Cullen et al.

(2010). Værdierne i den tredje kolonne blev beregnet

i betragtning af effektivitetsforbedringerne ved bedre isolering af tage og lofter og installation af

Termoruder estimeret af IEA (2013), i betragtning af antallet af overlevende bygninger i 2050 estimeret af Cabrera Serrenho et al. (2019).

Figur 2.3: Effekt af nye bygninger og renovering fra Cabrera Serrenho et al. (2019) og IEA (2013), brug af

Varmpumper til rumopvarmning (MacKay, 2008), Forbedringer af apparaters effektivitet (ECUK, 2019, tabel A1).

Figur 2.4: Dagens værdier for energiforbrug inden for transport blev indhentet fra britisk energistatistik (HM Government, 2019) og IEA-energibalancer (IEA, 2019). Værdierne i den anden kolonne blev beregnet ved hjælp af den metode, der er beskrevet i noterne til figur 1.13, og de effektivitetsværdier, der er estimeret af Cullen et al. (2010). Værdierne i den tredje kolonne blev beregnet under hensyntagen til

ingen international luftfart, erstatning af indenrigsflyvning skibsfart og luftfart med jernbane, en reduktion af energiforbruget i passagertransport ad vej til 60 % af det nuværende niveau (som vist i figur 2.6) og en reduktion på 30 % i energiforbruget til vejgodstransport (Dadhich et al., 2014).

Figur 2.5: Emissionsfaktorer fra BEIS' konverteringsfaktorer for drivhusgasrapportering 2019. Ækvivalente energiintensiteter beregnet ved hjælp af BEIS-værdier for brændstoffers CO₂e-intensiteter, bortset fra jernbane, som blev beregnet ved hjælp af CO₂e-intensitetsfaktoren for elektrisk trækraft. Strålingspåvirkningskorrektioner er inkluderet i emissionsintensiteterne for flyvning. Data for biler er for den nuværende gennemsnitlige flåde af benzinerbiler.

Figur 2.6: Udviklet under antagelse af en lineær korrelation mellem køretøjets vægt og brændstofforbrug (der er rimelig empirisk støtte for dette) og med den aktuelle køretøjsvægt taget fra figur 1.6.

Figur 2.7: Effekt af vægttab på køretøjer (Cullen et al., 2011), logistiske forbedringer (Dadhich et al., 2014), regenerativ bremsning (Gonzalez-Gil et al., 2014), luftmodstand og rullemodstand (Cullen et al., 2011).

Figur 2.8: Udviklet under hensyntagen til antallet af biler, der er købt og kasseret i Storbritannien, estimeret af Serrenho et al. (2017), med fuld udbredelse af elbiler. i nyt salg fra 2025.

Figur 2.9: Dette er konstrueret ud fra emissionsintensiteter rapporteret af Scarborough et al. (2014) kombineret med data om portionsstørrelser og kalorier pr. portion fra Storbritanniens nationale sundhedsvæsen (www.nhs.uk/live-well/healthy-weight/calorie-checker/). Der er betydelig usikkerhed bag tallene i denne figur - på grund af vanskeligheden ved at definere analysegrænserne for emissionsberegningen og den vilkårlige portionsstørrelse - men forskellen mellem de to fødevarer er betydelig.

Figur 2.10: Er taget fra Bajzelj et al. (2014) som anvendt til figur 1.15

Figur 2.11: Aktuelle energiforbrugsdata fra ECUK: Tabeller over slutbrugsdata, 2018, opdelt efter 2-cifret SIC. Hvor yderligere opdeling var nødvendig, f.eks. i den kemiske sektor, blev forbruget opdelt i de tilsvarende andele i 2007, hvor dataene leveres på 4-cifret SIC-niveau. Energi indeholdt i nettoimport af stål, cement, plast og tekstiler ved at gange energiintensiteten i den britiske produktion med nettoimporten af hvert materiale; tonnagedata fra henholdsvis Allwood et al. (2019), Shanks et al. (2019), ImpEE-projektet og Allwood et al. (2006). Energitalet i elproduktion stammer fra DUKES' samlede energibalancer, 2018. Energi til direkte brændstofforbrænding blev omdannet til elektricitet ved hjælp af den relevante effektivitet.

værdier angivet i figur 1.11. Interventioner til reduktion af efterspørgsel: 1) reducer skrot i metalforarbejdning til halvdelen af det nuværende niveau, dvs. halvdelen af de besparelser, der er identificeret i Milford et al. (2011); 2) reducer metalforbruget med 20 % ved at undgå overdesign af metalprodukter, i overensstemmelse med afsnit 2.3, afsnit 2.1 og Allwood og Cullen (2012); 3) En reduktion på 75 % i cementproduktionen baseret på afsnit 2.2; 4) Forlængelse af levetiden for biler, tøj og industrivarer, hvilket reducerer produktionen af disse produkter med henholdsvis 40 %, 45 % og 40 %. Andele af stål- og aluminiumsforbrug ifølge de globale data angivet i Allwood og Cullen (2012). 5) Reduktion af plastemballage med 25 %; i Storbritannien er plastemballage 2,2 Mt ud af 6,3 Mt samlet forbrug estimeret ud fra ProdCom-database; 6) En reduktion på 25 % i gødningsforbruget, halvdelen af den reduktion, der er identificeret for Holland i afsnit 2.2; 7) Reduktion af madspild, hvilket fører til en reduktion på 3 % i produktionen i fødevarerforbearbejdningsindustrien i henhold til WRAP Courthald Commitment; 8) Mere effektiv udnyttelse af elektricitet i industrien ved at forbedre effektiviteten af motorer, varmepumper til rumopvarmning, procesopvarmning og belysning fra henholdsvis 60 % til 80 %, 104 % til 400 %, 80 % til 90 % og 13 % til 15 %, i overensstemmelse med Cullen og Allwood (2010).

Figur 2.12: Oprindelig analyse til denne rapport udviklet af CFDunant

Figur 2.13: Udviklet fra Cooper et al. (2014).

Figur 2.14: Original version af denne figur offentliggjort i Allwood et al. (2012) modificeret her for at vise primærproduktionen fra højovne, der falder til nul i overensstemmelse med nul-emissionsmålet.

Figur 2.15: Udviklet fra Daehn et al. (2019)

Figur 2.16: Plaststrømmene i Storbritannien blev estimeret ud fra den britiske handelsstatistik (Eurostat, 2018) ved hjælp af en systematisk fordeling af handelsproduktkoder i de forskellige stadier af forsyningskæden og ved at estimere plastindholdet og anvendelsen for hver produktkode.

Figur 2.17: Udviklet fra Shanks et al. (2019)

Figur 2.18: En undersøgelse af bygningsingeniører, MEICON, viste, at bygningsingeniører generelt er forberedte på rutinemæssigt at overdesigne strukturer for at foregribe eventuelle senere ændringer i opgavebeskrivelsen, håndtere designrisiko og dække muligheden for konstruktionsfejl. Materialeeffektivt design, for eksempel ved hjælp af stofforskalling, kan muliggøre en betydelig reduktion i overforbrug uden nogen øget risiko.

Figur 2.19: Aktuelle energiforbrugsdata fra ECUK: Tabeller over slutbrugsdata, 2018, opdelt efter 2-cifret SIC, og hvor yderligere opdeling er nødvendig (f.eks. adskillelse af primærenergi)

og sekundær træforarbejdning) 2007-data på 4-cifret SIC-niveau. Energitaab i elproduktion, omdannelse af direkte brændstofforbrænding til elektricitet og interventioner til reduktion af efterspørgsel er alle som beskrevet i figur 2.23.

Figur 2.20: Fordeling af emissioner fra global materialeproduktion til de seks nøglesektorer baseret på materialestrømsanalyse af stål (Cullen et al., 2012), cement (Shanks et al., 2019), aluminium (Cullen og Allwood, 2013), plast (Allwood et al., 2012), papir (Counsell og Allwood, 2007), fødevarer (Bajzelj et al. 2014)

Figur 2.22: Disse data er offentligt tilgængelige af bilindustrien. Horton og Allwood (2017) gennemgår dataene og undersøger flere muligheder, hvordan denne form for materialeineffektivitet kan håndteres.

Figur 2.23: Forbedringer af energieffektiviteten i fremstillingsindustrien (Paoli og Cullen, 2019), reduktion af skrotmetal (Milford et al., 2011), reduktion af overdesign og forlængelse af levetiden (Allwood & Cullen, 2012), plastemballage (Lavery et al., 2013), madspild (WRAP, 2018)

Figur 2.24: Andelen af tab her er vejledende og baseret på data i Li et al. (2016). De faktiske tab varierer afhængigt af den måde, brinten lagres på, og det præcise mønster af efterspørgsel, hvordan elektricitet udvundet fra brændselscellen.

Figur 3.3: Rapporten Zero Carbon Britain (Allen et al., 2013) beskriver et scenarie for energiforsyningen i 2050. Vi har beregnet, hvor meget energiproduktionen fra hver kilde skal øges hvert år fra nu af og frem til 2050 for at nå målet. Stigningerne præsenteres som en procentdel af den nuværende britiske primære energibehov på omkring 2200 TWh (BEIS, 2019). Forventningerne til statslig støtte til havvind i 2020'erne stammer fra Crown Estate (2019), omregnet til produktionsværdier med en repræsentativ kapacitetsfaktor for havvind på 40 %. En gennemgang af biomasse-til-væske-systemer til produktion af transportbrændstof viser, at der endnu ikke er nogen kommercielle anlæg i drift (Dimitriou, 2018).

Referencer

Allen et al. (2013). Nul-kulstof-Storbritannien: Gentænk fremtiden. Center for Alternativ Teknologi. <https://www.cat.org.uk/info-resources/zero-carbon-britain/research-reports/zero-carbon-rethinking-the-future/> [tilgået 6. november 2019].

Allwood, JM (2018). Urealistisk teknooptimisme hæmmer fremskridt inden for ressourceeffektivitet. *Nature materials*, 17(12), 1050.

Allwood, JM, Cullen, JM, Carruth, MA, Cooper, DR, McBrien, M., Milford, RL, Moynihan, MC & Patel, AC (2012). Bæredygtige materialer: med begge øjne åbne (s. 364). Cambridge, Storbritannien: UIT Cambridge Limited.

Allwood, JM, Dunant, CF, Lupton, RC, Serrenho, A. CH (2019) Stålfremkomsten: Muligheder for Storbritannien i forbindelse med transformation af den globale stålindustri

Allwood, JM, Laursen, S., Rodriguez, CM, Bocken NMP (2006) Velklædt? Den nuværende og fremtidige bæredygtighed af tøj og tekstiler i Storbritannien

Apostolaki-Iosifidou, E., Codani, P., & Kempton, W. (2017). Måling af effekttab under opladning og afladning af elektriske køretøjer. *Energy*, 127, 730-742.

Bajzelj, B., Allwood, JM og Cullen, JM (2013) Udformning af klimaforandringsplaner, der summerer sig, *Miljøvidenskab og Teknologi*, 47(14) 8062-8069.

Bajzelj, B., Richards, KS, Allwood, JM, Smith, PA, Dennis, JS, Curmi, E. og Gilligan, CA (2014) Betydningen af styring af fødevareefterspørgslen for klimaforandringer. *Nature Climate Change*, 4, 924–929

BEIS (2019). Digest of UK Energy Statistics (DUKES) 2019. <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistics-dukes-2019> [tilgået 6. november 2019].

BEIS omregningsfaktorer for rapportering af drivhusgasser <https://www.gov.uk/government/publications/drivhusgasrapporteringskonverteringsfaktorer-2019>

Cabrera Serrenho, A., Drewniok, M., Dunant, C., Allwood, JM. Test af potentialet for reduktion af drivhusgasemissioner i alternative strategier for den engelske boligmasse. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 144: s. 267-275.

Klimaudvalget, 2019. Netto nul: Storbritanniens bidrag til at stoppe global opvarmning, <https://www.theccc.org.uk/publications/>

Cooper, DR, Skelton, ACH, Moynihan, MC, Allwood, JM Strategier på komponentniveau til udnyttelse af stålets levetid i produkter. *Ressourcer, bevarelse og genbrug*, 2014, 84: s. 24-34.

Counsell TAM og Allwood JM (2007) Reduktion af klimaforandringer i gasudledning ved at fjerne faser i kontorpapirets livscyklus, *Resources, Conservation and Recycling*, 49(4) 340-352.

Kronegods (2019). Informationsmemorandum: Introduktion af havvindudlejning runde 4. <https://www.thecrownestate.co.uk/media/3378/tce-r4-information-memorandum.pdf> [tilgået 6. november 2019].

Cullen, JM, & Allwood, JM (2010). Teoretiske effektivitetsgrænser for energiomdannelsesenheder. *Energy*, 35(5), 2059-2069.

Cullen, JM, Allwood, JM, Bergstein, E., H. (2011) Reduktion af energiforbrug: hvad er de praktiske grænser? *Miljøvidenskab. Teknologi* 2011, 45, 4, 1711-1718

Cullen, JM, Allwood, JM, & Bambach, MD (2012). Kortlægning af den globale stålstrøm: fra stålproduktion til slutprodukter. *Miljøvidenskab og -teknologi*, 46(24), 13048-13055.

Cullen, JM, Allwood, JM Teoretiske effektivitetsgrænser for energiomdannelsesenheder. *Energy*, 2010, 35 (5): s. 2059-2069.

Cullen, JM og Allwood, JM (2013). Kortlægning af den globale strøm af aluminium: fra flydende aluminium til slutprodukter, *Environmental Science and Technology*, 47, 3057-3064

Dadhich, P., Piecyk, M., Greening, P., Palmer, A., Holden, R. Carbon for money-model — Design og udvikling af et beslutningsstøtteværktøj til bæredygtig vejfragt. I 26. konference for det nordiske logistikforskningsnetværk NOFOMA 2014, 2014.

Daehn, KE, Serrenho, AC, Allwood, J. At finde den mest effektive måde at fjerne restkopper fra stålskrot. *Metallurgiske og Materialetransaktioner B*, 2019, 50 (3): s. 1225-1240.

Ministeriet for Erhverv, Energi og Industristrategi (2019). Database over Planlægning af Vedvarende Energi (REPD): September 2019. Webreference - <https://www.gov.uk/regering/publikationer/månedligt-uddrag-database-for-vedvarende-energiplanlægning>

Dimitriou et al. (2018). Teknøkonomisk og usikkerhedsanalyse af biomasse-til-væske (BTL)-systemer til produktion af transportbrændstof. *Vedvarende og bæredygtig energi*

Anmeldelser 88. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.023>

Oversigt over britiske energistatistikker (DUKES) 2019, <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistik-hertuger-2019>

EUROSTAT, Eurostat [online] Statistik over produktionen af fremstillede varer (PRODCOM). 2018 [hentet 02/05/2019].

Tilgængelig fra internettet: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom/data/database>.

Global Fuel Economy Initiative, arbejdsdokument 17, "Bredere, højere, tungere: udviklingen af lette køretøjers størrelse over generationer", webreference, <https://www.globalfueleconomy.org/data-and-research/publications/gfei-arbejdspapir-17>

[globalfueleconomy.org/data-and-research/publications/gfei-arbejdspapir-17](https://www.globalfueleconomy.org/data-and-research/publications/gfei-arbejdspapir-17)

González-Gil, A., Palacin, R., Batty, P., Powell, JP (2014) En systemtilgang til at reducere energiforbruget i bybaner. Energy Conversion and Management. Bind 80, april 2014, siderne 509-524.

Gross, R., Hanna, R., Gambhir, A., Heptonstall, P., & Speirs, J. (2018). Hvor lang tid tager innovation og kommerialisering i energisektoren? Historiske casestudier af tidsskalaen fra opfindelse til udbredt kommerialisering inden for energiforsyning og slutbrugsteknologi. Energipolitik, 123, 682-699.

Haberl, H., et al. (2007). Kvantificering og kortlægning af den menneskelige tilegnelse af nettoprimærproduktion i jordens terrestriske økosystemer. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(31), 12942-12947.

Haberl, H., Erb, KH, Krausmann, F. Menneskelig tilegnelse af nettoprimærproduktion: Mønstre, tendenser og planetariske grænser. Årlig gennemgang af miljø og ressourcer. 2014, 39 (1): s. 363-391.

Den britiske regering, 2018. Vores affald, vores ressourcer: en strategi for England. <https://www.gov.uk/government/publikationer/ressource-og-affaldsstrategi-for-england>

Den britiske regering. Oversigt over britisk energistatistik (DUKES). London, Storbritannien: Ministeriet for Erhverv, Energi og Industristrategi, 2019.

Horton, PM og Allwood, JM (2017) Muligheder for udbytteforbedring ved fremstilling af bilplademetal komponenter, Journal of Materials Processing Technology, 249, 78-88.

IEA (2017). Jernbanehåndbog 2017. [h_ps://uic.org/IMG/pdf/håndbog_iea-uic_2017_web3.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/håndbog_iea-uic_2017_web3.pdf)

IEA. Teknologikøreplan: Energieffektive bygningsskærme. Paris, Frankrig: Det Internationale Energiagentur,

2013.

IEA. Verdens energibalancer. Paris, Frankrig: Det Internationale Energiagentur, 2019.

IPCC (2014). AR5 WG3-rapport: Transport. [h_ps://www.ipcc.ch/rapport/ar5/wg3/](https://www.ipcc.ch/rapport/ar5/wg3/)

IRENA (2018). Omkostninger til produktion af vedvarende energi i 2018.

Lavery, G., Pennell, N., Brown, S., Evans, S. (2013) Den næste produktionsrevolution: Produktivitet uden for arbejdskraft og dens potentiale for britisk produktion.

Li, M., Zhang, X., & Li, G. (2016). En sammenlignende vurdering af batteri- og brændselscellebiler ved hjælp af en well-to-wheel-analyse. Energy, 94, 693-704.

Li, Xun, 2019. Kulstofaftryk relateret til betonstyrke. Kandidatafhandling, University of Bath.

Mackay, D. (2009). Data om vindmølleparkers effekt pr. arealenhed er komplette. Blogindlæg - <http://withouthotair.blogspot.com/2009/05/vindfarm-power-per-unit-area-data.html>

MacKay, D. Bæredygtig energi — Uden den varme luft. Cambridge, Storbritannien: UIT Cambridge, 2008.

Marteau, Theresa, 2017. Mod miljømæssigt bæredygtig menneskelig adfærd: målretning af ubevidste og bevidste processer for effektive og acceptable politikker. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Matematiske, fysiske og ingeniørvidenskaber (375). <http://doi.org/10.1098/rsta.2016.0371>

Milford, RL, Allwood, JM, Cullen, JM (2011) Vurdering af potentialet for udbytteforbedringer gennem reduktion af procesaffald for energi- og CO2-reduktion i stål- og aluminiumsektoren. Ressourcer, bevarelse og

Genbrug 55 s. 1185-1195

National Renewable Energy Laboratory (2013). Vejrkorrigeret ydelsesforhold. Webreference - <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57>

National Renewable Energy Laboratory (2019). Bedste forskningsdiagram over celleeffektivitet. Webreference - <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

National Statistics (2018), "Energiforbrug i Storbritannien", data fra 2018, webreference - https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/vedhæftede_data/fil/826726/2019_Slutbrugstabeller_2.xlsx

National statistik (2019), "Oversigt over den britiske befolkning: august 2019", webreference - <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/>

befolkning og migration/befolkningsskøn/artikler/

Oversigt over Storbritanniens befolkning/august 2019

OECD/IEA (2018) "Tab ved transmission og distribution af elektrisk kraft (% af produktionen)", webreference - <https://data.worldbank.org/indicator/eg.elc.loss.zs>

Kontoret for Jernbaner og Veje. Jernbaneemissioner (2018-19). <https://dataportal.orr.gov.uk/statistik/infrastruktur-og-emissioner/jernbaneemissioner/>

Officiel statistik (2014), "Fakta om energi i Storbritannien: 2013", webreference, <https://www.gov.uk/regering/statistik/storbritannien-boligenergi-faktafil-2013>

Paoli, L., & Cullen, J. (2019). Tekniske grænser for energiomdannelseseffektivitet. *Energy*, 116228.

Pauliuk et al., 2019. En generel datamodel for socioøkonomisk metabolisme og dens implementering i en industriel økologisk data-commons prototype. *Journal of Industrial Ecology* 23(5). doi: 10.1111/jiec.12890.

Fotovoltaisk geografisk informationssystem (2017). Geografisk vurdering af solressourcer og ydeevne af fotovoltaisk teknologi. Webreference - https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Scarborough, P., et al. (2014). Udlledning af drivhusgasser fra kødspisere, fiskespisere, vegetarer og veganere i Storbritannien. *Climatic changes*, 125(2), 179-192.

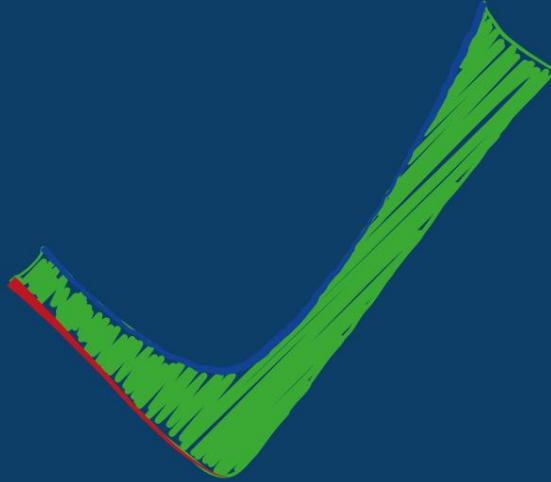
Serrenho, AC, Norman, JB, Allwood, JM (2017) Virkningen af at reducere bilers vægt på globale emissioner: fremtidens flåde i Storbritannien. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375 (2095).

Shanks, W., Dunant, CF, Drewniok, MP, Lupton, RC, Serrenho, AC og Allwood, JM (2019) Hvor meget cement Kan vi klare os uden? Erfaringer fra cementmaterialestrømme Storbritannien, Ressourcebevarelse og genbrug, 141, 441-454.

Shapiro, C., & Puttagunta, S. (2016). Feltpræstation af varmepumpevandvarmere i det nordøstlige USA (nr. NREL/SR-5500-64904; DOE/GO-102016-4759). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (USA).

Smil, V. (2014). Den lange, langsomme stigning i sol- og vindenergi. *Scientific American*, 310(1), 52-57.

Handlingsprogram for affald og ressourcer, WRAP (2018) Husholdningsmadspild: justerede data for 2007-2015



Absolut nul: en vis kortsigtet begrænsning i vores energiforbrug, men ingen begrænsning overhovedet i det, vi nyder mest ...

